



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE LISU NA PAPÍROVÉ BRIKETY

PRESS DESIGN FOR PAPER BRIQUETTES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kočař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Jiří Kočař**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce lisu na papírové brikety

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obecný trend v nakládání s odpady je jejich recyklace. Nabízí se možnost zpracování odpadového papíru pomocí lisování do formy briket. Tyto brikety mohou sloužit k vytápění menších objektů spolu s jinými palivy.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je vyvinout cenově dostupný elektrický lis na papírové, případně papír–pilinové brikety s těmito parametry: hmotnost 1 ks brikety cca 100 g, produktivita 240 ks/hod.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- definice parametrů lisu,
- konstrukční návrh sestavy lisu,
- pevnostní analýza kritických částí lisu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R. a BUDYNAS, R.G. Konstruování strojních součástí. 1. vyd., 2010, VUTUM, Brno. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem lisu využívajícího papírový odpad na výrobu papírových, popřípadě papír-pilinových briket. V první části práce rozebírá možnosti zpracování odpadu, současné stroje na výrobu briket a jejich možnosti uplatnění na trhu pro malovýrobce. Druhá část je zaměřena na výsledný návrh mechanismu lisovacího stroje a obecný popis jeho součástí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lis, brikety, papír, odpad, palivo

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with an engineering design of a press briquette machine, which process refuse of paper. This refuse is used for production of paper 's, eventually paper-sawdust 's briquets. The first part contains analysis of options of processing garbage, current machines producting briquets and their versatility. The second section is focused on a final design of a pressing machine and a general description of it's parts.

KEY WORDS

Press, briquets, paper, rouse, power

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOČAŘ, J. *Konstrukce lisu na papírové brikety*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat především vedoucímu své bakalářské práce Ing. Jiřímu Dvořáčkovi za odborné rady, cenné připomínky a zodpovědné vedení. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Konstrukce lisu na papírové brikety* zpracoval samostatně, s využitím zdrojů, které jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

v Brně dne

.....

Jiří Kočař

OBSAH

OBSAH	11
1 ÚVOD	13
2 Přehled současného stavu poznání	14
2.1 Nakládání s odpady	14
2.1.1 Energetické využití odpadů	14
2.1.2 Nakládání s papírovými odpady	15
2.1.3 Papírové brikety	15
2.2 Základní rozdělení briketovacích lisů	15
2.2.1 Hydraulický briketovací lis	16
2.2.2 Klikový briketovací lis	17
2.2.3 Šnekový briketovací lis	18
2.2.4 Válcový briketovací lis	19
2.2.3 Peletovací lis	19
2.3 Přehled dostupných lisů na trhu pro malovýrobce	21
2.3.1 Briketovací lis Rojek LIS 15	22
2.3.2 Briketovací lis Falach 30	23
2.3.3 Briketovací lis BrikStar EK 20	24
2.3.4 Lis na papírové brikety QUATTRO DEMA	25
2.3.5 Technické údaje lisu	26
3 Analýza problému a cíl práce	27
3.1 Analýza problému	27
3.2 Cíl práce	27
4 Koncepční řešení	28
4.1 Řešení mechanismu	28
4.2 Návrh dávkovače	29
4.2.1 Dávkování pomocí vačkového mechanismu	29
4.2.2 Vačkový mechanismus s pístem	30
4.2.3 Plnění šnekovým šroubem	31
4.2.4 Dávkování pomocí prstence	32
4.2.5 Výběr varianty dávkování	32
4.3 Návrh nastavení zdvihu lisu	33
4.3.1 Nastavení zdvihu přes klikovou hřídel	33
4.3.2 Nastavení zdvihu posunutím hřídele	34
4.3.3 Výběr varianty nastavení zdvihu lisu	34
4.4 Návrh pohonu lisu	34
4.4.1 Ruční pohon	35
4.4.2 Elektrický pohon	35
5 Konstrukční řešení	36
5.1 Stručný popis funkce mechanismu	37
5.1.1 Plnění dávkovače	37
5.1.2 Přesun směsi do lisovacího válce	38
5.1.3 Lisování brikety	39
5.1.4 Plnění dávkovače	40
5.2 Lisovací část	41
5.2.1 Hlavní hřídel	42
5.2.2 Ojnice	43

5.2.3 Písty a válce	44
5.2.4 Rotační rám	45
5.2.5 Víko	46
5.2.6 Vyhazovač briket	47
5.3 Násypník a dávkovač	48
5.3.1 Násypník	48
5.3.2 Dávkovač	50
5.4 Pohon lisu	51
5.5 Konstrukce rámu	52
5.6 Vstupní suroviny	52
5.6.1 Příprava směsi pro lis	53
5.7 Zkouška lisování briket pro získání potřebné síly	54
5.7.1 Postup a výsledky pokusu	56
5.7.2 Statické a dynamické zatěžování	57
5.8 Kinematický rozbor	59
5.8.1 Silový rozbor	60
5.9 Pevnostní výpočty kritických částí lisu	62
5.9.1 Výpočet bezpečnosti posuvné hřídele	62
5.7.1 Bezpečnost profilu U	67
5.7.1 Bezpečnost lisovacího válce	68
5.10 Nakupované součásti	69
5.10.1 Synchronní motor SOK motor	69
5.10.2 Kuželová převodovka	71
5.10.3 Rolny	72
Diskuze	73
závěr	74
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	77
10 SEZNAM OBRÁZKŮ	78
11 SEZNAM TABULEK	80
12 SEZNAM PŘÍLOH	81

1 ÚVOD

1

Již několik tisíciletí se setkáváme s papírem. Používá se tedy velmi dlouho a první zmínky jsou známy z Číny, kde vyvinuli i dnešní typ papíru. V současné době je papír používán nejčastěji na výrobu knih, letáků, časopisu a čím dál více u obalových materiálů. Samotný papír se vyrábí z dřevní štěpky a buničiny. Vytvořená vláknovina se poté zpracovává různými technologiemi podle požadavku výsledného produktu. Velká část z použitého papíru se vrací do výroby nových papírových výrobků, které jsou méně kvalitní z důvodu poškozování vlákniny, ale i tak výrobek z recyklovaného papíru velmi dobře splní svůj účel. K produktům z tohoto starého papíru, které se z části podílí na výrobě nového papíru patří lepenkové krabice, toaletní papír, obaly z vajec, a noviny. Další možností jak naložit se starým, nepotřebným papírem je jeho zlisování do briket a využití ve formě paliva. Toto palivo má výhřevnost srovnatelnou s dřevěnými briketami a lze s ním topit v kotlích na tuhá paliva.

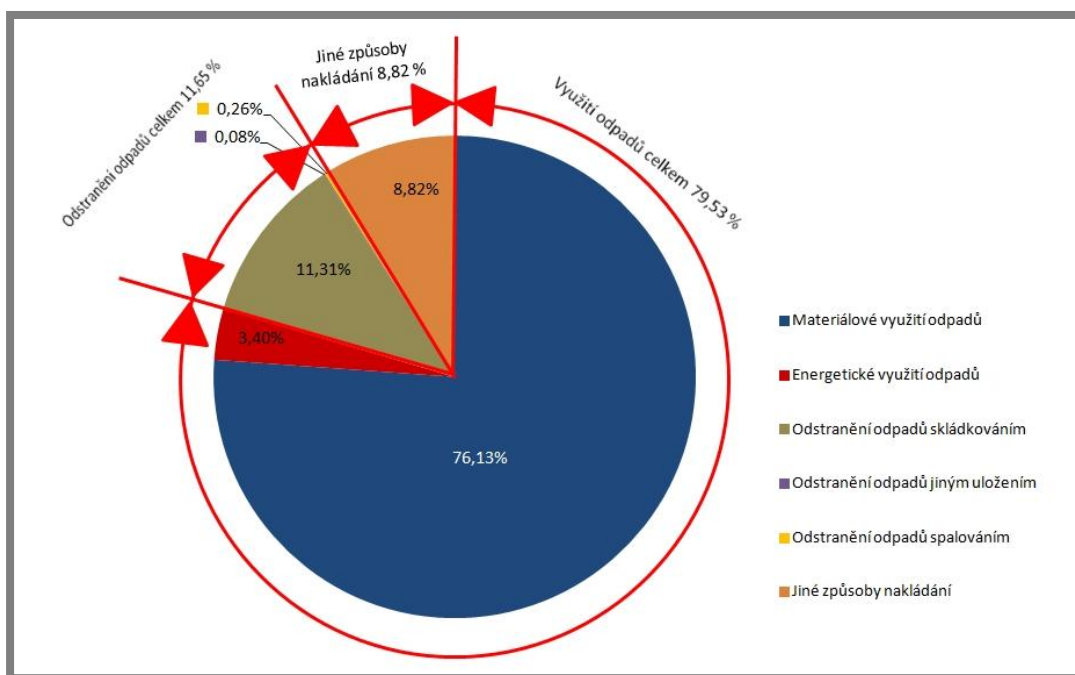
Vzhledem k dostupnosti tohoto materiálu se nabízí možnost vlastního zpracování pro samotné producenty papírových odpadů. V nabídce produktů vytvářejících papírové brikety jsou lisy zaměřené na dřevěný odpad, kde je výroba nákladnější na spotřebu energie z důvodů potřebných vyšších výrobních tlaků. Druhou variantou jsou ruční lisy, se kterými je produkce časově náročná a neefektivní. Proto se nabízí návrh řešení problému chybějícího stroje na výrobu papírových briket.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V této kapitole je rozebráno současné řešení s energeticky využitelnými odpady, přehled papírových odpadů a jeho recyklace. Stručné rozdělení druhů lisu podle principu výroby. V poslední řadě pak nabízené produkty trhu se zhodnocením výkonnosti lisů.

2.1 Nakládání s odpady

Téměř veškerá činnost a jakákoliv průmyslová produkce lidstva v dnešním světě souvisí také s produkcí nadbytečného materiálu a materiálu nehodnotného pro další výrobu nebo zpracování. Tento materiál je nazýván jako materiál odpadový. Současným trendem a směrem, kterým se ubírá dnes průmyslová výroba, je tento materiál použít pro další zpracování a nebo ho recyklovat. Producentem odpadů nejsou jenom průmyslové výroby, ale také domácnosti, které se také značnou měrou podílí na produkci odpadů, ať rozložitelných jako je bioodpad nebo nerozložitelných určených pro další zpracování do nových výrobků nebo k jinému nakládání. Mezi typické nakládání s odpady rozumíme jejich roztřídění na surovinový materiál pro další použití, regeneraci materiálu k původnímu účelu, ukládání odpadů na skládky, přeměny odpadu na energii.



Obr. 2-1 Podíl využití a odstranění odpadů z celkové produkce odpadů v ČR 2013 [5]

2.1.1 Energetické využití odpadů

Energetické využití odpadů je významným zdrojem elektrické energie a tepelné energie, která by se musela jinak získávat z paliv fosilních, obnovitelných nebo jiných. V některých odvětvích jsou odpady zdrojem plynů pro přímé místní zpracování - např. plynové biostanice, dřevní hmoty, skládkování za vzniku tepla nebo plynů. V jiných případech je ekonomické hledisko příznivé tomu, aby se místo tradičních paliv používaly i odpady - spalovny, elektrárny. Z pravidla se v těchto zařízeních spalují odpady, které by jinak z většiny skončili uložením na skládkách. Je snaha tyto nadbytečné odpady spalovat za vzniku energie a zlepšit jejich využití

jako energeticky hodnotné suroviny, která by jinak byla uložena bez jakéhokoliv zpětného využití, ačkoliv spalování nesourodých odpadních látek se sebou nese nevýhody ve smyslu škodlivých emisí a vzniku problémů s nakládáním s popelem. Vznikají tedy důvody, proč není tento způsob využívání odpadů mezi ekology a veřejností oblíben, a to i přes značný pokrok ve snižování emisí a lepších technologiích spalování. I přes svá negativa při spalování se používá skoro 4% odpadu k energetickému využití.

2.1.2 Nakládání s papírovými odpady

2.1.2

Nejčastějším nakládáním s papírovým odpadem je jeho recyklace pro další použití. Ročně se v České republice do sběrných míst přiveze okolo 900 tisíc tun papíru.[4] Většina papíru pro každodenní použití je recyklována. Typickými příklady opětovného použití papíru jsou noviny, toaletní papír, kancelářské, balicí papíry, kartony, sešity a výkresové papíry pro školní použití, obaly na vejce a další výrobky z nejméně kvalitních papírových odpadů. Papír nelze recyklovat stále dokola, protože se každou úpravou zmenšuje jejich papírové vlákno, a proto lze papír pro papírenské účely recyklovat maximálně 5-7krát. Papírové vlákno, které už nelze recyklovat, lze vyhodit do směsného komunálního odpadu a nebo použít pro kompost. Dalším využitím jsou papírové brikety, nebo stavební izolace na bázi celulózy.

2.1.3 Papírové brikety

2.1.3

Papírové brikety mohou být spalovány ve všech typech kotlů, kamen a spaloven pro tuhá paliva. Objemová hmotnost briket se pohybuje kolem $1 - 1,2 \text{ t/m}^3$ a její výhřevnost je $12 - 15 \text{ MJ/kg}$, která je srovnatelná dřevěnými briketami.

„Spalování starého papíru je za určitých předpokladů podobné spalování biomasy. Při optimálním spalování se vytváří pouze oxid uhličitý, který je opět spotřebován v průběhu růstu nové biomasy díky fotosyntéze. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze prováděla v roce 2005 spalovací zkoušky paliv na bázi odpadního papíru se závěrem, že emisní faktory alternativních paliv na bázi starého papíru jsou velmi podobné hodnotám dosaženým při spalování dřevěných briket. Byly testovány brikety ze směsného papíru z třídního komunálního odpadu. Je velmi důležité pro spalování vybrat správný papír s minimálním obsahem plnidel a barviv.“ [9]

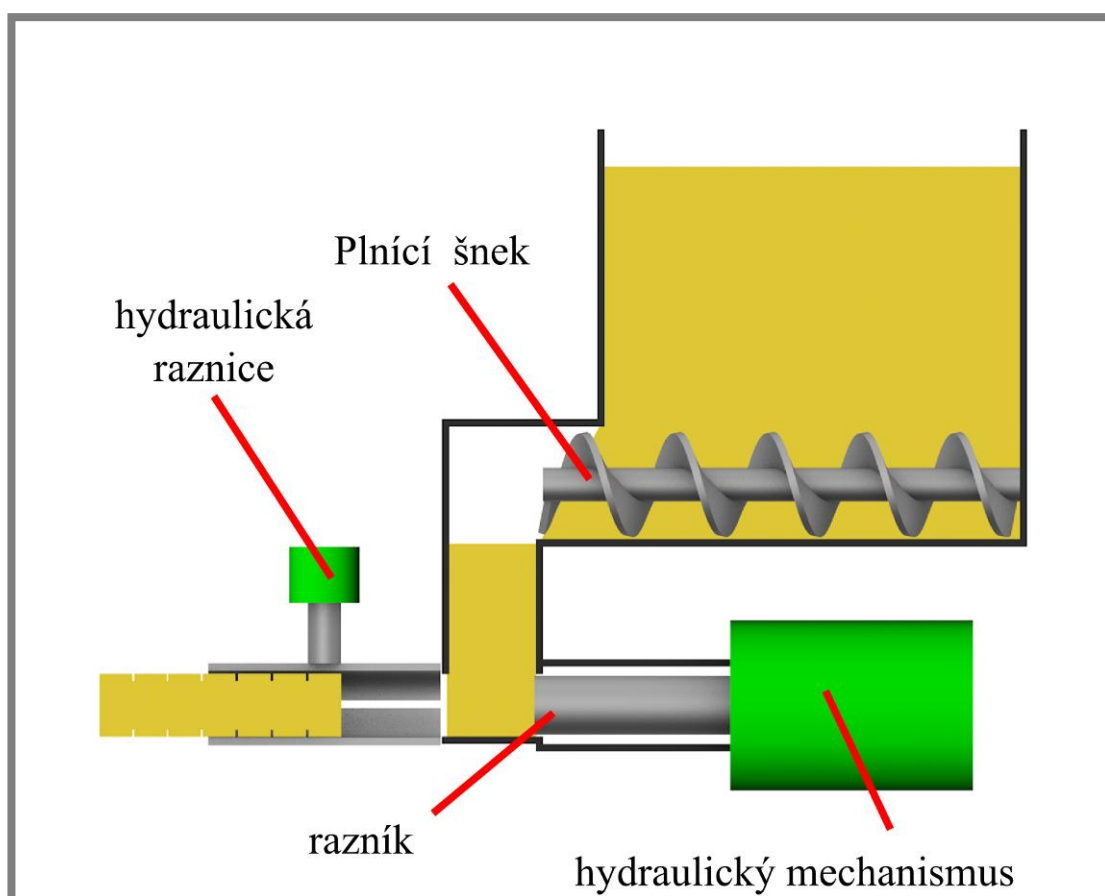
2.2 Základní rozdělení briketovacích lisů

2.2

Základní přehled druhů lisů na výrobu briket, se kterými je možno se setkat. V dnešní době se nejvíce používají hydraulické lisy, které dosahují velmi dobrých rychlostí výroby. Většina lisů je téměř zcela automatická.

2.2.1 Hydraulický briketovací lis

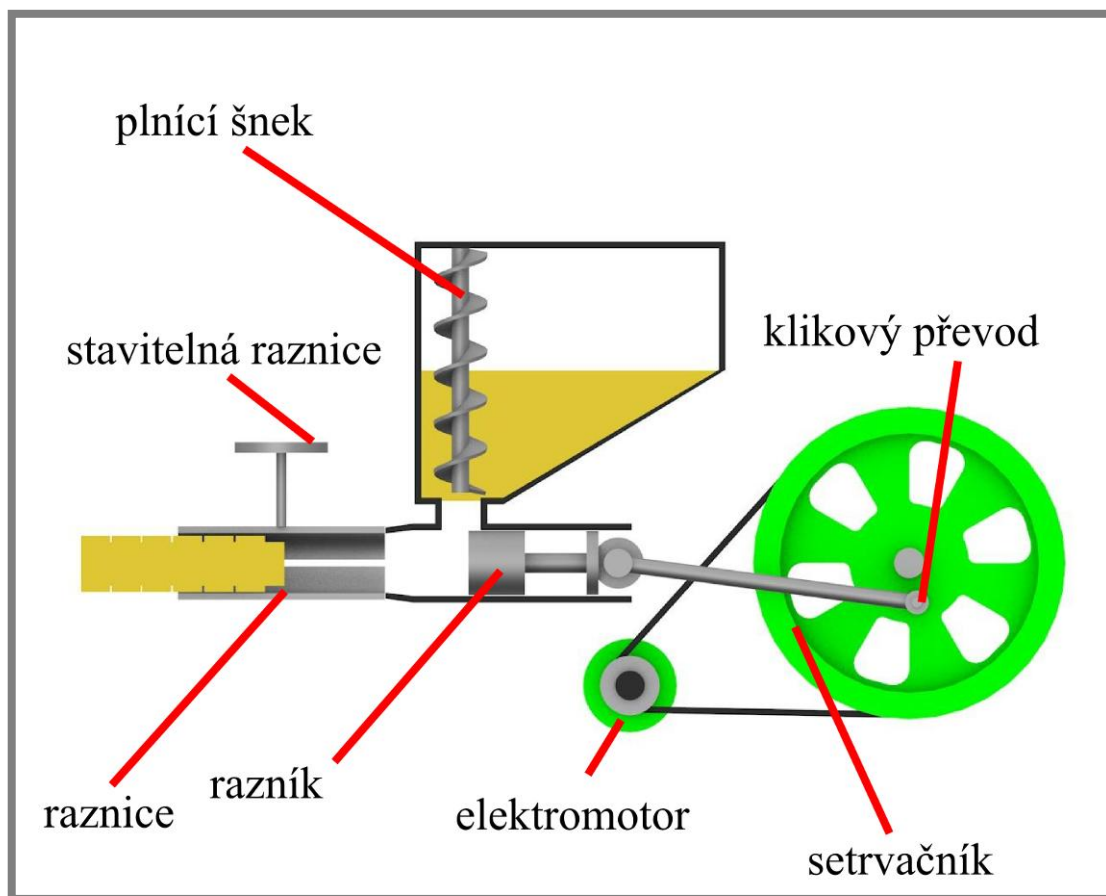
Jedná se o hydraulické zařízení, které pracuje na principech Pascalova zákona. Zařízení dokáže vytvořit elektromotory a hydraulickou soustavou velké tlaky a síly postačující na slisování materiálu. Podle (obr.2-2) mechanismus pracuje nejčastěji se dvěma písty. Sypaný materiál je do prvního válce vtlačen buď šnekovým podavačem, lopatkami poháněné elektromotorem a nebo gravitací. První píst (raznice) stlačuje sypaný materiál do tvaru brikety. Současně přitlačená hydraulická raznice zamezuje průchodu předešlé brikety a vytvoří se zde uzavřená lisovací komora. Nová briketa se opře o tu předcházející a vytvoří zde tlak, který briketu stlačí do finální podoby. Může existovat spousta různých variant a kombinací těchto lisu. Tento lis tvoří nekonečný válec briket. Některé druhy hydraulických lisů tvoří jednotlivé brikety, kde opora tvoří konstrukce lisu.



Obr. 2-2 hydraulický briketovací lis

2.2.2 Klikový briketovací lis

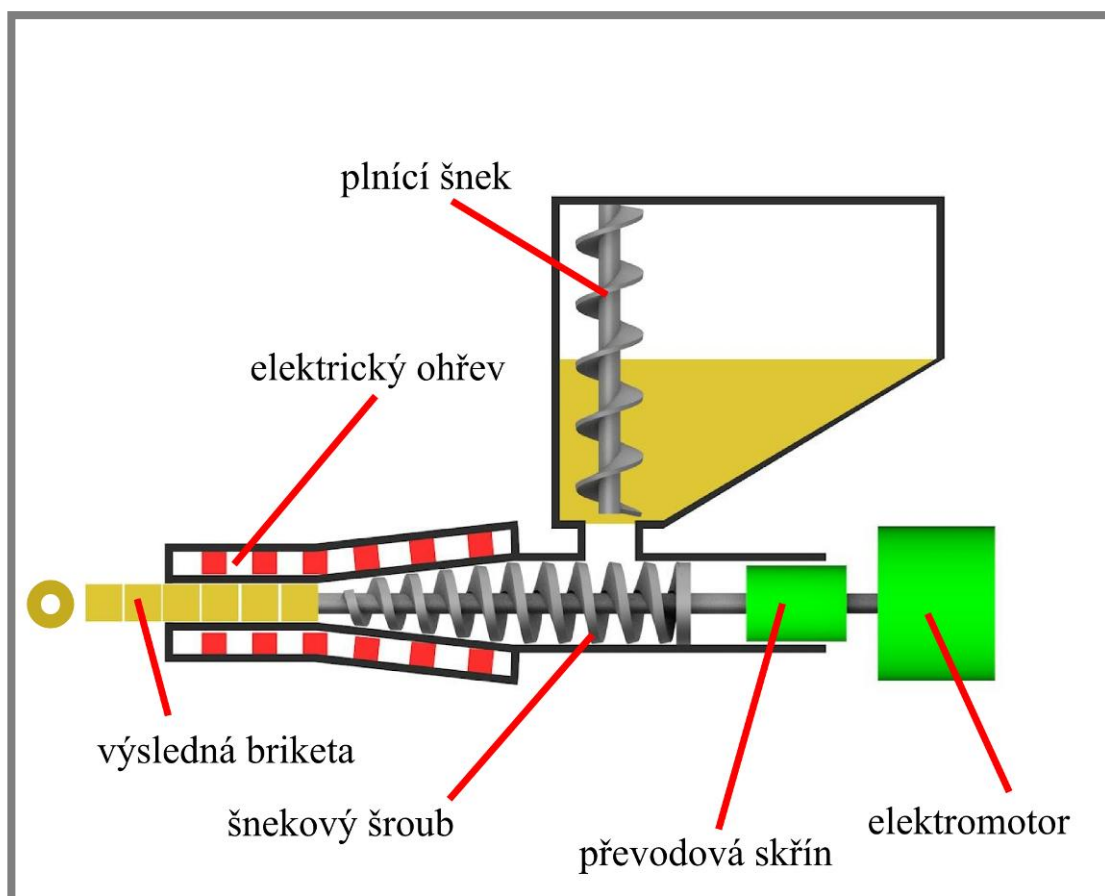
Oproti lisu hydraulickému se jedná o technicky jednodušší variantu. Největší nároky jsou u tohoto lisu kladeny na velký výkon elektromotoru. Na schématu (obr.2-3) je využit princip klikového mechanismu. Pomocí setrvačných sil těžkého setrvačníku, který je poháněn řemenovým převodem, je lis schopný vytvořit velké tlaky a síly působící na stlačovaný materiál. Do válce je sypký materiál vtahován stejným způsobem jako u hydraulického lisu. Píst tlačí před sebou materiál a brikety se vytváří díky zmenšujícímu se kuželovému tvaru válce ve směru chodu výlisku. Tím materiál zmenšuje svůj objem a postupným vytlačováním raznicí se tvoří hotové brikety v nekonečném válci. Tlak na brikety lze regulovat pomocí stavitelné raznice za pístem, která ulehčí nebo ztíží průchod výlisků.



Obr. 2-3 Klikový briketovací lis

2.2.3 Šnekový briketovací lis

Tento způsob (obr.2-4) výroby briket pracuje na principu rotujícího šroubového dopravníku, který před sebe tlačí materiál ze zásobníku a zároveň jej lisuje. Šnekový šroub je mohutnější, aby odolal vznikajícím vysokým tlakům. Násyp je stejný jako u hydraulického lisu. Elektromotor, který má snížené otáčky přes převodovou skříň, pohání šnekový šroub. Tlak je způsoben stálým přetlačením materiálu ve směru lisování a jeho následným natlačením na již vytvořený výlisek. Tento lis je většinou vybavený na vnější straně válce elektrickým ohřevem. Díky tomu zde dochází k uvolňování přírodních pojiv a lepšímu slepení materiálu. Pro správnou činnost je potřeba správného nastavení průměru průchozí raznice, aby zařízení vytvořilo co největší tlak, ale i průchod skrze stavitelnou raznici. Lis tvoří nekonečný dutý válec.



Obr. 2-4 Šnekový briketovací lis

2.2.4 Válcový briketovací lis

2.2.4

Výrobní přístroj na brikety založený na stlačování vstupní suroviny pomocí dvou rovnoběžných válců. Každý válec má po obvodu kovové raznice. V prostoru mezi válci se vytváří pomocí protiběžné rotace a zmenšování prostoru raznice vysoký tlak za vzniku brikety. Násypník je zde přímo nad prostorem válců, což napomáhá efektivnímu plnění pomocí lopatek vytvořených z raznic válců. Tento lis se využívá hlavně na rozdrčené uhlí pro následné tvoření pevných, uhelných briket. Mechanismus pracuje při maximálních tlacích okolo 100 MPa. Velikost brikety a tlak lze regulovat pomocí kyvného zavěšení druhého válce a hydraulického zvedáku.

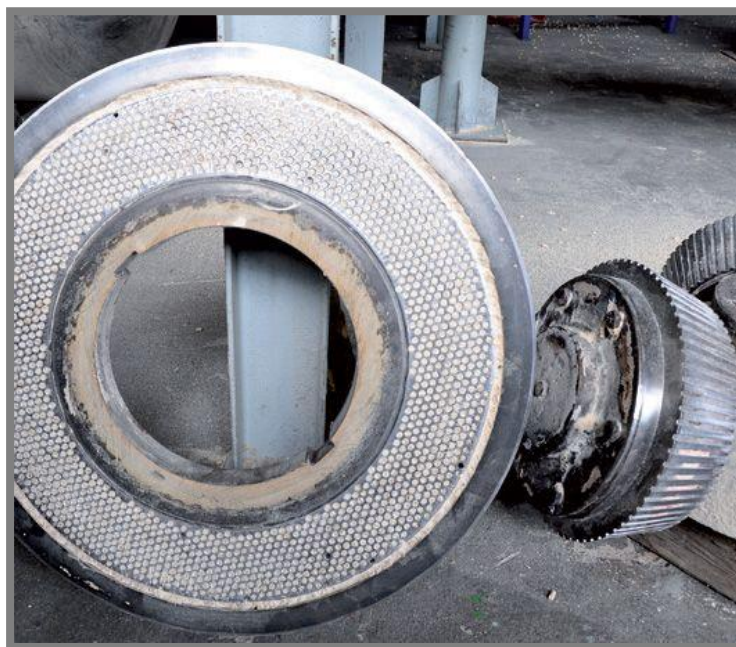
2.2.3 Peletovací lis

2.2.3

Pelety jsou trochu jinou velikostní skupinou biopaliv. Hlavním rozdílem je velikost peletky oproti briketám. Peleta se svými rozměry pohybuje okolo 6 - 25mm v průměru a maximálně 50mm v délce. Zpracování vstupní suroviny je zde důkladnější za cílem optimální suchosti a velikost zrn vstupujících do lisu. V peletovacím lisu je násypník přímo propojený s lisovacím prostorem a směs se protlačuje skrze matrice, které se dělí na 2 základní typy:

Deskové matrice (obr.2-5)

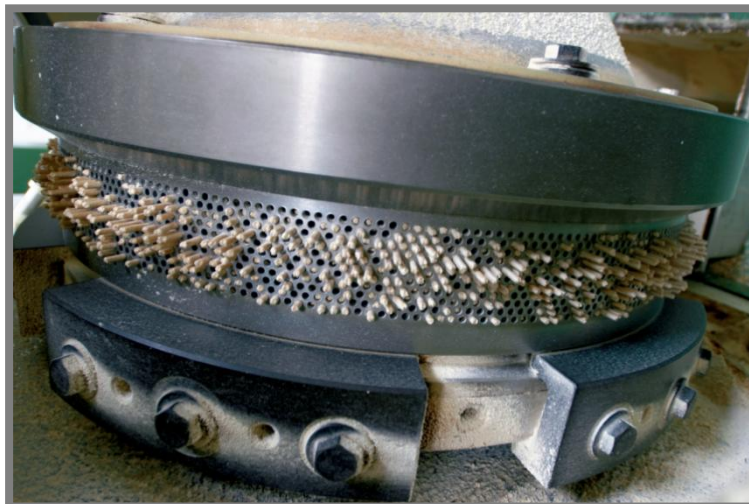
Deskové matrice jsou pevné a horizontálně uložené. Protlačení směsi skrze matrice umožňují 2 až 4 rolny, které se odvalují tlačенý materiál po povrchu matrice.



Obr. 2-5 Desková matrice, vlevo-horizontální matrice, vpravo- rolny [6]

Prstencové matrice (obr.2-6)

Oproti deskové jsou pohyblivé a vertikálně uložené. Prstencový typ je složitější a vyrobený z více částí, výkonnější a je častěji používán ve velkovýrobě.

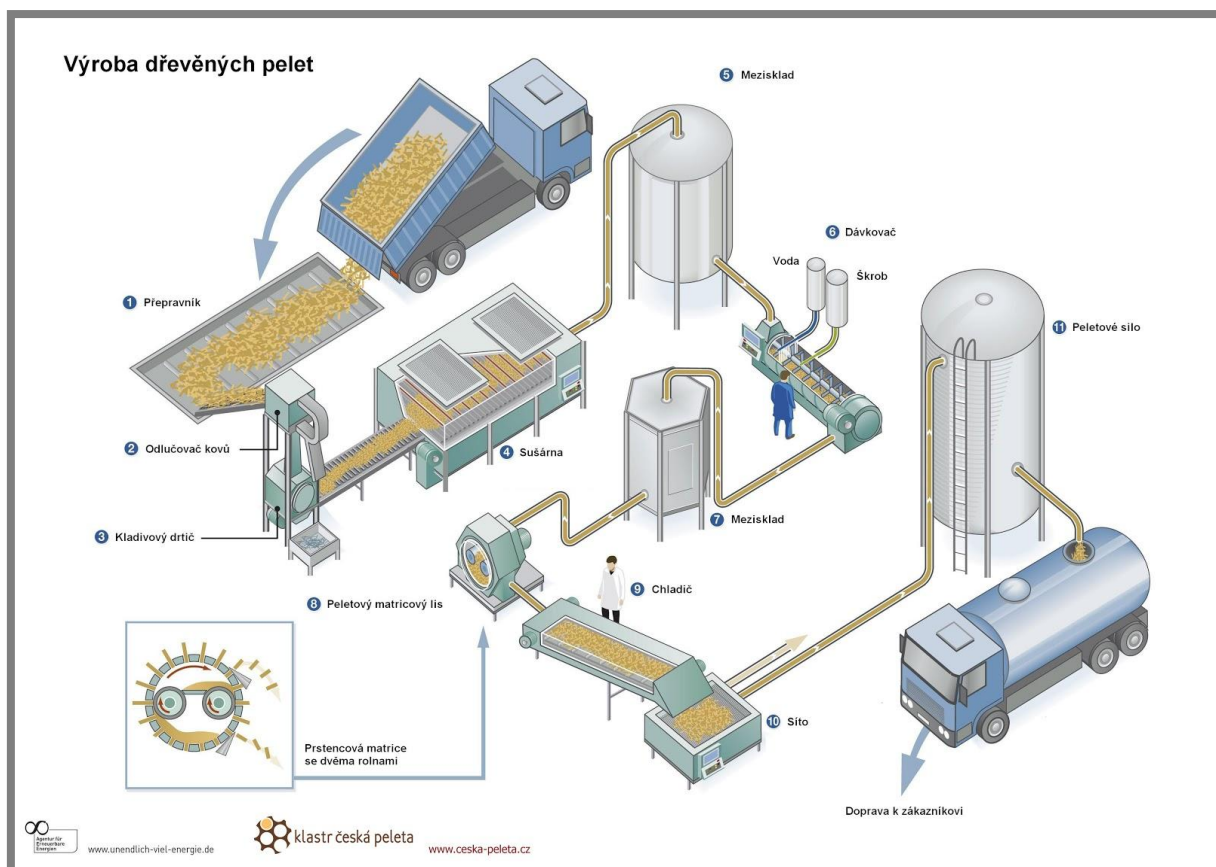


Obr. 2-6 Prstencová matrice [6]

2.3 Přehled dostupných lisů na trhu pro malovýrobce

Briketovací a peletové lisy se používají u malovýrobce např. u truhlářů, ale především pro velkovýrobu. Pomocí několika zařízení je schopno vyrábět velké množství paliva. Jako příklad velkovýroby (obr 2-7) je schéma výrobní linky dřevěných pelet.

Navrhovaný lis není určen pro velkovýrobu, ale pro menší výrobu jako jsou například domácnosti, obce a firmy s přebytkem papírového odpadu, které využijí následné brikety pro vlastní spotřebu. Niž uvedené briketovače a ruční lisy jsou určeny pro menší firmy a domácnosti zpracovávající dostupný biodpad a papírový odpad a dále použijí jako palivo pro svoji spotřebu.



Obr. 2-7 Výroba dřevěných pelet [6]

2.3.1 Briketovací lis Rojek LIS 15

Nejmenší dostupný hydraulický lis od firmy ROJEK (obr. 2-2). Je určený pro domácí výrobu briket z pilin, hoblin a dřevního odpadu o velikosti do 10mm. Vhodný je především pro truhláře, kteří tento odpad denně produkují a můžou ho využít ve formě paliva. Výsledný produkt je válcová briketa o průměru 50mm a delce 20 - 60mm. Pro výrobu zde není potřeba žádných pojiv. Ztuhlý efekt je dosažen tlakem ve válcové raznici.



Obr. 2-8 Briketovací lis Rojek [7]

2.3.2 Briketovací lis Falach 30

2.3.2

Falach 30 (obr. 2-9) je briketovací lis, určený pro truhláře. Zařízení pracuje s hydraulickým systémem. Součástí lisu je drátěný dopravník a stojan na pytel. U tohoto typu lisu je chlazení oleje vyřešeno zvětšením olejové nádrže.



Obr. 2-9 Lis Falach 30 [8]

2.3.3 Briketovací lis BrikStar EK 20

Firma Briklis nabízí velký sortiment briketových lisů. Tento typ (obr 2-) je nejmenšího objemu a produktivity dané značky, ale i tak má šikovným uspořádáním násypku o velikosti 0,6m³. Po naplnění násypníku pracuje bez obsluhy a po vyprázdnění materiálu se sám vypne.



Obr. 2-10 Lis BrikStar EK 20 [9]

2.3.4 Lis na papírové brikety QUATTRO DEMA

Jde zcela o ruční lis (obr.2-11), kde se pomocí páky vytlačuje navlhčený papír za vzniku brikety. Konstrukce lisu umožňuje rovnoměrné rozložení tlaku během lisování do všech komor. Brikety se musí nechat pár dní vysušit.



Obr. 2-11 Lis QUATTRO DEMA [10]

2.3.5 Technické údaje lisu

Ze zmíněných několika typů lisů je vytvořena tabulka pro srovnání základních parametrů.

Tab. 1 Technické údaje lisů

TYP LISU	Rojek lis 15	Falach30	BrikStar EK20	Quattro Dema 41181	Návrh lisu
Lisovací tlak [t]	8	-	18	-	0,6
Výkon [kg/h]	4-12	25-40	10-30	-	18-30
Příkon [kW]	3,42	4	2,4	-	0,15
Objem [m³]	0,2	0,33	0,6	0,023	0,13
Rozměr lisu[m]	1,7x0,52x0,9	1,86x0,89x1,1	1,4x1,06x1,14	0,42x0,3 x0,18	0,6x0,6x 1,5
Hmotnost[kg]	165	400	385	7,5	
Rozměr brikety[mm]	20-60/ø50	ø50	20-30/ø62	220x80x 60	14-22/ ø76
Vlhkost materiálu[%]	15	-	8-15	-	70-90

Z tabulky (Tab.1) lze vyčíst a srovnat především výkon, objem násypníku a příkon jednotlivých nabízených lisů. Poslední, navrhovaný lis dosahuje podobných výkonů s podstatně nižším lisovacím tlakem, ale s daleko nižším příkonem.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3

3.1 Analýza problému

3.1

Problémem k řešení je chybějící produkt, který by mohl s podstatně menší spotřebou energie vyrábět palivo pro kotle na tuhá paliva. Zvyšující se trend používání papíru k výrobě obalů zvyšuje také množství papírového odpadu. Existuje několik druhů lisu zpracovávající bioodpad, bohužel nejsou přímo určeny přímo pro tento typ odpadu, proto zde chybí její efektivnější výroba.

3.2 Cíl práce

3.2

Předmětem práce je navržení konstrukce lisu zpracovávající papírovou směs, který by měl svými rozměry a cenou směřovat pro malovýrobce papírových briket, které se dají využít ve formě paliva. Jednalo by se o lis, který by byl schopný pomocí jednoho pohonu zvládat všechny potřebné funkce na výrobu brikety, s výjimkou samostatné přípravou směsi pro tento lis.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Pro zcela nový typ lisu je velmi obtížné najít správné kombinace a varianty navrhnutí dílčích částí lisu, aby fungoval co nejlépe jako celek. Proto k některým částem lisu je několik variant, které by se daly použít.

4.1 Řešení mechanismu

Celý mechanismus stlačování je vytvořený z principu klikového mechanismu, který je v hojném množství používán ve spalovacích motorech. Nejlepší porovnání lisu můžeme vidět u rotačního motoru, který se používal v letadlech v první světové válce a také v motocyklech. Základním rozdílem oproti standardním motorům je rotační pohyb válců. Tento způsob byl výhodný u letadel z hlediska nízké hmotnosti motoru, díky nahrazení setrvačníku samotnými válci. Z hlediska nevýhod byl škodný gyroskopický moment při vyšších otáčkách a také vysoký odpor vzduch při vyšších rychlostech, proto se tento motor přestal používat. Návrh lisu vznikl na podobném pohybu mechanismu, s tím rozdílem, že místo plnění a stlačování paliva se bude používat směs papíru.

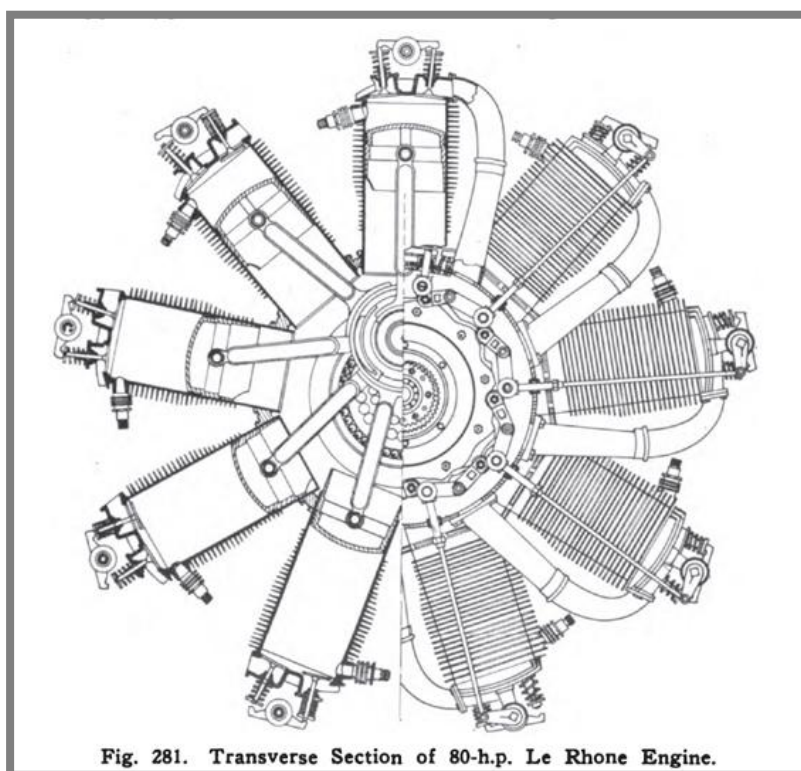


Fig. 281. Transverse Section of 80-h.p. Le Rhone Engine.

Obr. 4-1 Motor Le Rhone [11]

4.2 Návrh dávkovače

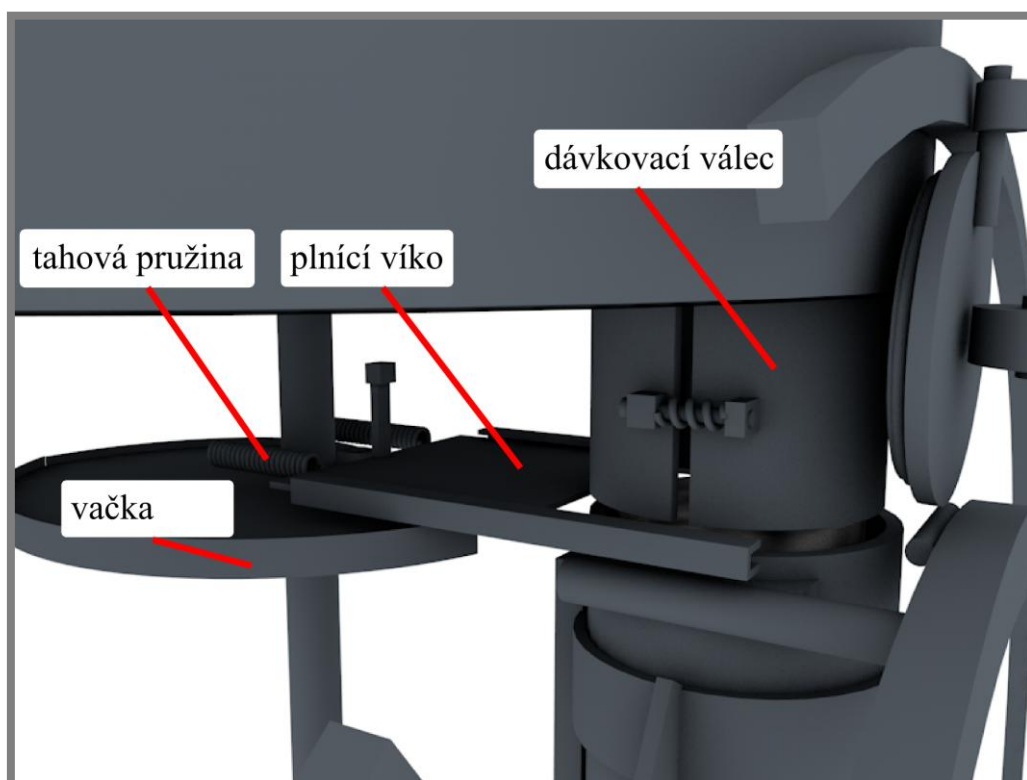
4.2

Dávkovač je nezbytnou součástí pro správná a neustálé dodávání materiálu do lisu. Pro správnou a nepřerušovanou funkci lisu bylo zapotřebí zvolit vhodný a jednoduchý způsob plnění válců bez nutnosti dlouhého zastavování lisu se zachováním dávkování s co nejmenšími rozdíly v objemu briket.

4.2.1 Dávkování pomocí vačkového mechanismu

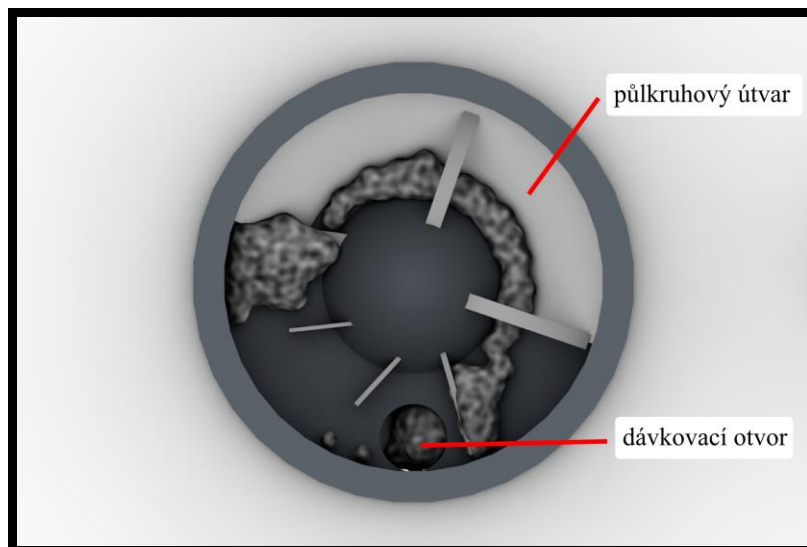
4.2.1

Princip řešení spočívá v napínání plnicího víka, které se ve vhodné chvíli rychle otevře pomocí tahových pružin. Vačka, která to umožňuje, má evolventní tvar křivky, pokračuje v kružnici a končí náhlým skokem zpět na začátek evolventy. Ve stejnou chvíli se pozastaví rotace lisu a pomocí tíhové síly spadne směs do válce. Održení od stěn směsi dávkovacího válce dopomůže oddělování dvou stěn válce současně s otevíráním víka.



Obr. 4-2 Varianta s vačkovým mechanismem

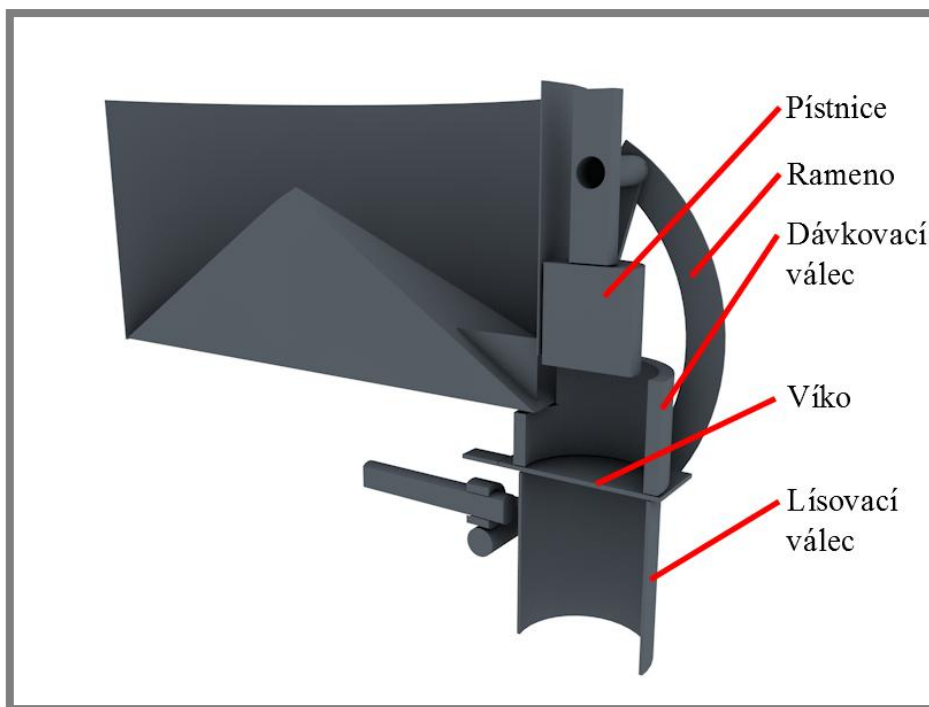
Dávkování do dávkovacího válce je potřeba v určitou chvíli přerušit, aby se do válce nedostávala nadbytečná směs v průběhu plnění. V násypníku (obr. 4-3) je vytvořený půlkruhový útvar. V průběhu je rotace zamezuje přísun směsi do válce v potřebnou chvíli.



Obr. 4-3 Uzavírací násypník

4.2.2 Váčkový mechanismus s pístem

Dávkování je podobné jako plnění přes otevírací víko a vačku jako u předešlého řešení. Namísto tíhového sesunu směsi je použita pístnice (obr.4-4). Pístnice je spojena s vačkou pomocí ramen a při otevření víka vytlačí směs do lisovacího válce a zároveň zamezí dalšímu přísunu směsi do dávkovacího válce.

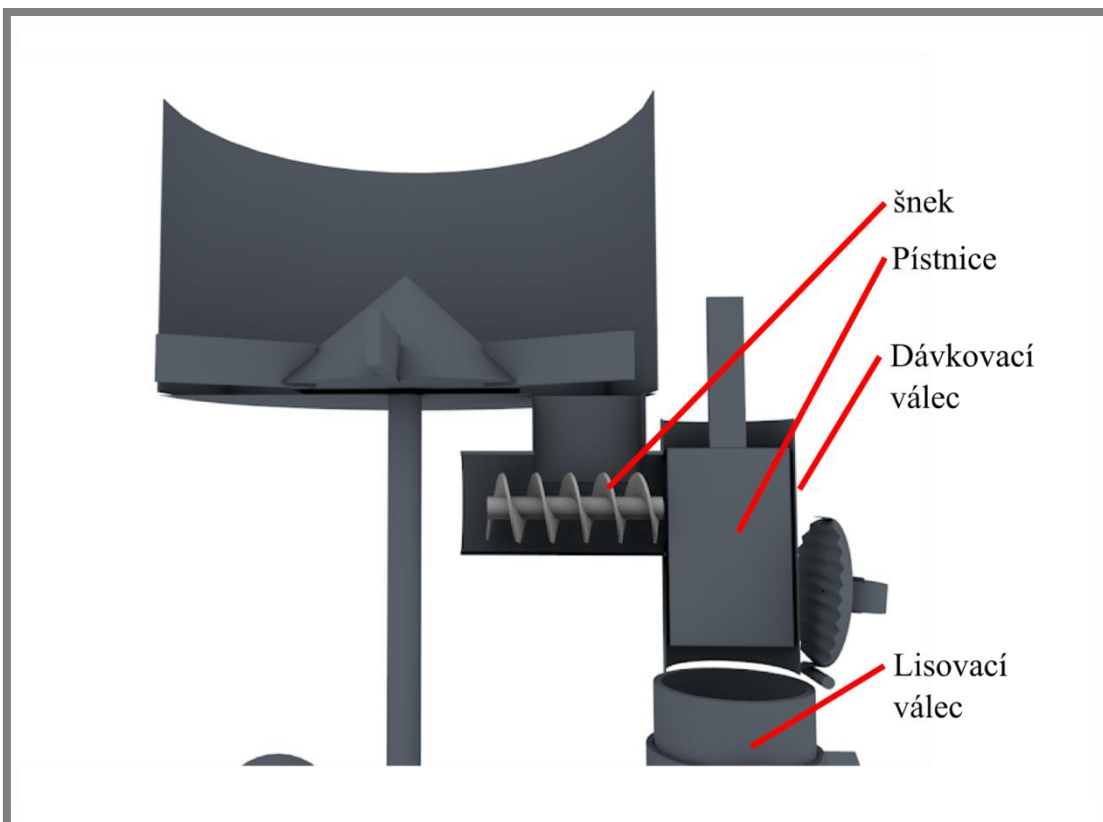


Obr. 4-4 Varianta vačky s pístem

4.2.3 Plnění šnekovým šroubem

4.2.3

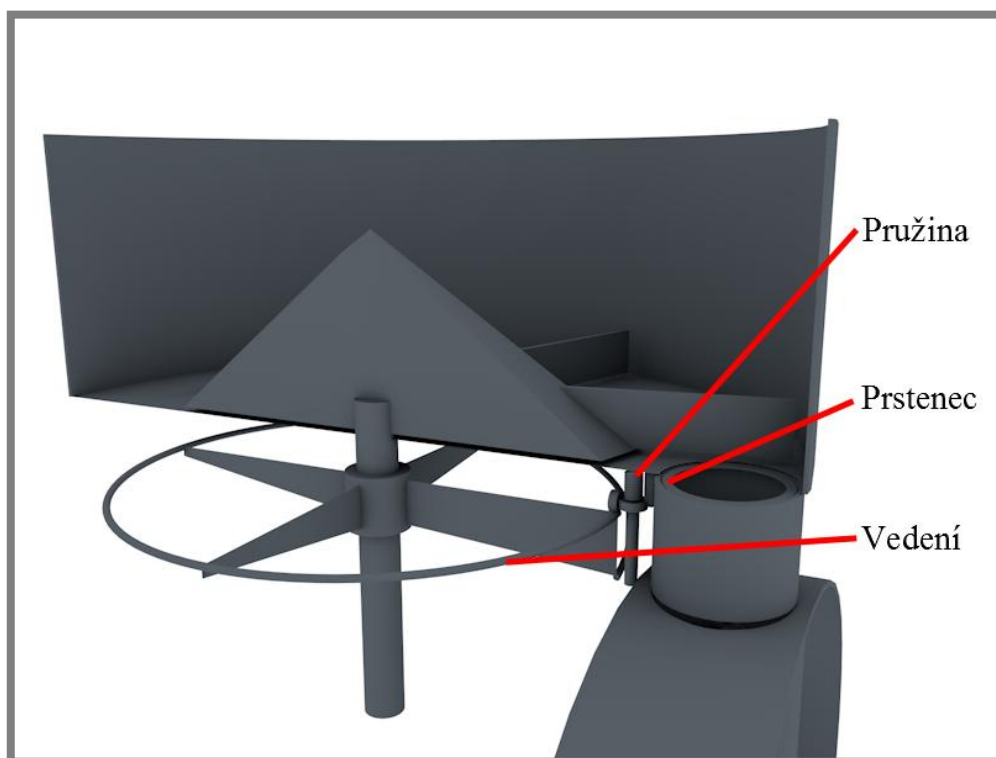
Varianta, která by za pomoci šnekového šroubu (obr. 4-5) pod násypníkem plnila dávkovací válec. V přesnou chvíli by pneumatická pístnice stlačila směs do lisovacího válce. Šnekový šroub by byl poháněný další převodovou skříní nebo pomocí klínového řemene.



Obr. 4-5 Varianta se šnekovým šroubem

4.2.4 Dávkování pomocí prstence

Prstenec (obr. 4-6), horizontálně posuvný pomocí vodící tyče, stírá v krátkém okamžiku vnitřní stranu válce. Zamezuje tedy případné zaseknutí směsi během plnění. Tento způsob je konstrukčně nenáročný a zamezí nežádoucí zastavování rotace plnicích válců během lisování.



Obr. 4-6 Varianta prstence

4.2.5 Výběr varianty dávkování

Výběrem varianty se odvíjí výsledná cena. Nejvhodnější varianta v souvislosti s přesností plněním by byla se šnekovým šroubem a pístnicí. Toto řešení zvyšuje potřebné množství nových dílů jako je převodová skříň, kompresor a pneumatické vedení. Proto byla zvolena varianta s prstencem.

4.3 Návrh nastavení zdvihu lisu

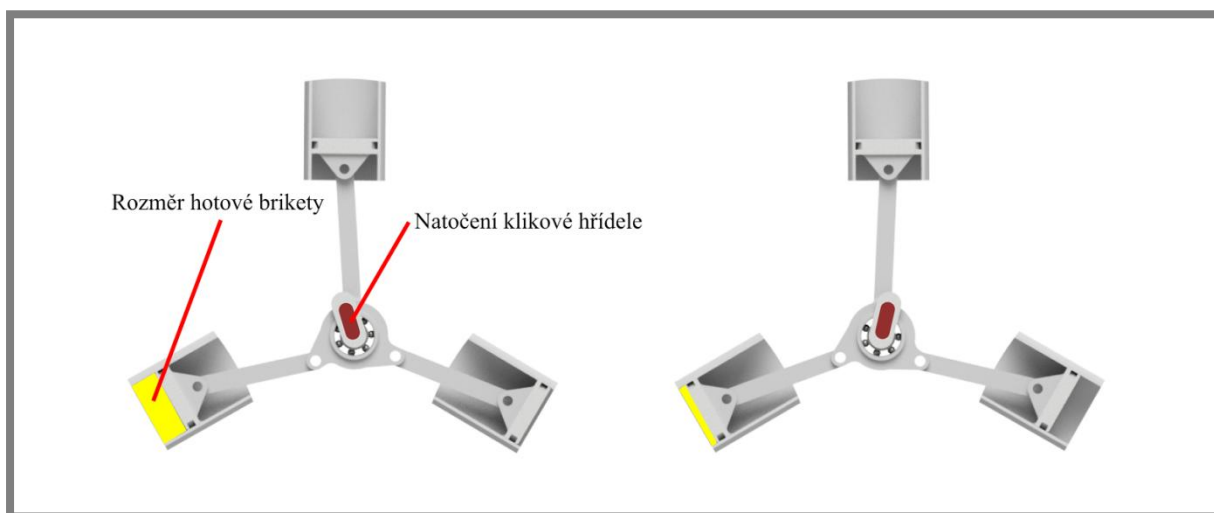
4.3

Každá přichystaná směs na lisování má vždy trochu jiné složení a podíl vody a přídavných materiálů. Proto je přínosné, aby měl tento lis možnost nastavování zdvihu podle potřeby.

4.3.1 Nastavení zdvihu přes klikovou hřídel

4.3.1

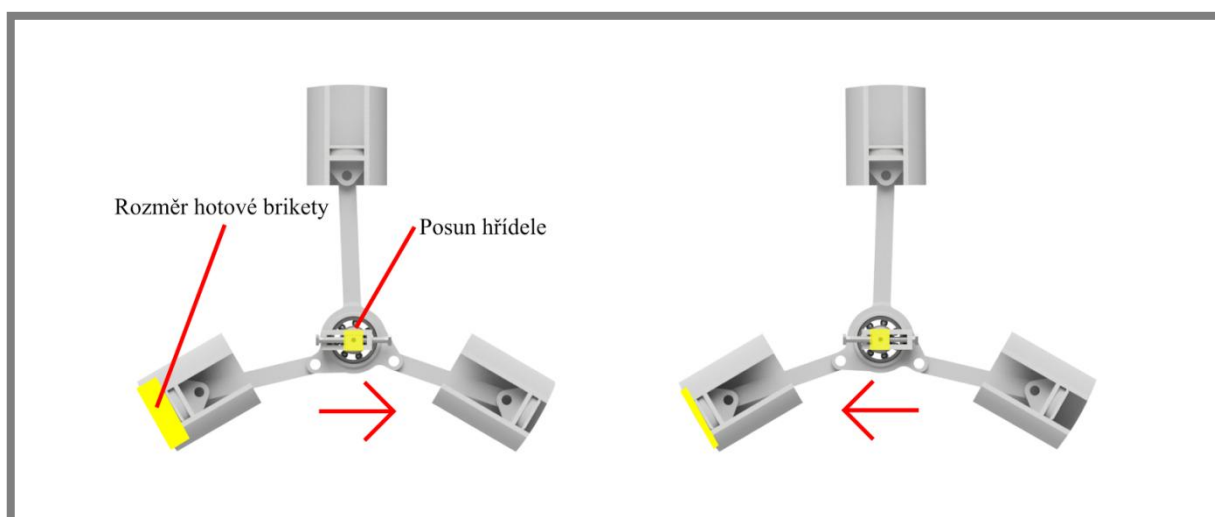
Natočením klikové hřídele kolem její vrchní osy (obr. 4-7) se docílí upravení horní úvrati a změnou výšky zdvihového objemu v okamžiku největšího stlačení. Její natočení a udržení v určité pozici je vytvořeno pomocí šnekového soukolí, kde pastorek je nastavovací šroub.



Obr. 4-7 Nastavení zdvihu přes klikovou hřídel

4.3.2 Nastavení zdvihu posunutím hřídele

Podobně jako u předešlé varianty dochází k upravování horní úvrati. Hřídel je zakončena obdélníkovým profilem a zasazena do horizontálně volného pouzdra. Pomocí tří šroubů se zajistí a nastaví potřebný zdvih.



Obr. 4-8 Nastavení zdvihu posunutím hřídele

4.3.3 Výběr varianty nastavení zdvihu lisu

Obě varianty mají stejný výsledný efekt. Jednodušší varianta na ovládání je první způsob přes klikovou hřídel, ale z důvodu složitosti a potřebných podrobných výpočtů na vhodný materiál, velikost soukolí a klikové hřídele je zvolen druhý způsob, tj. nastavení zdvihu posunutím hřídele.

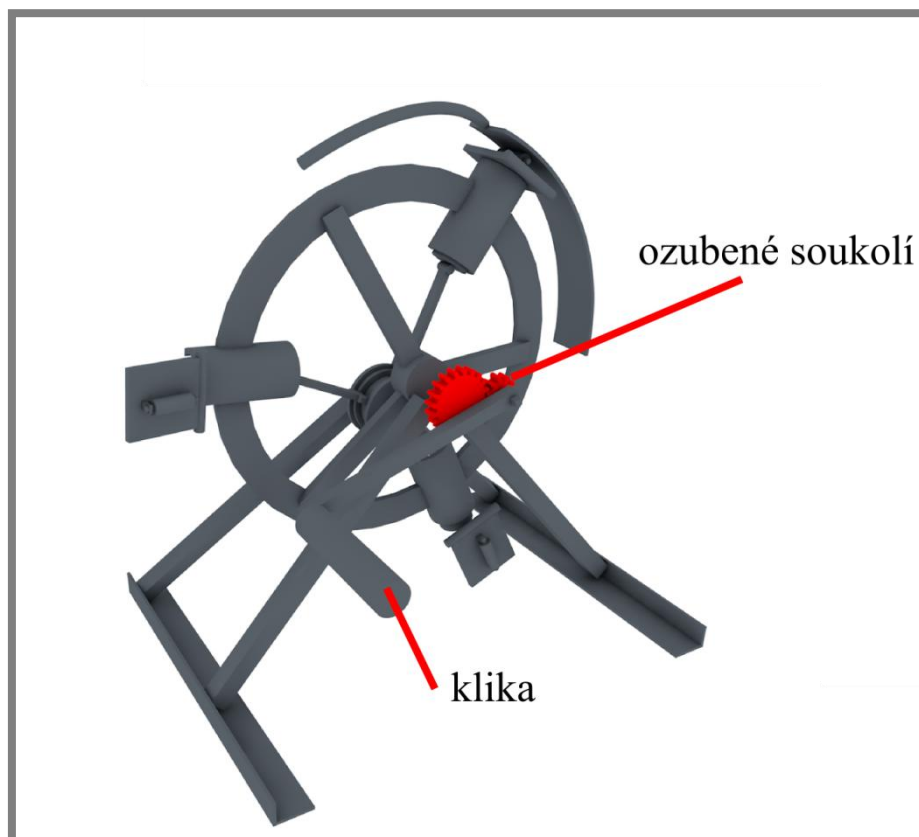
4.4 Návrh pohonu lisu

Na volbě pohonu záleží cílové využití lisu, které může být intenzivní a téměř nepřetržitě a nebo občasné pro několik briket za výrobní dobu. Nabízí se pouze 2 možné pohony lisu: ruční pohon a elektrický pohon. Pro návrh lisu je zvolen elektrický, ale pro nízkonákladovou výrobu lisu by byl tento pohon ideální.

4.4.1 Ruční pohon

4.4.1

Tato varianta ručního pohonu výrazně snižuje cenu lisu na úkor nízké produktivity. Výroba je zcela nezávislá na elektrickém připojení, tedy vhodná pro místa bez elektrické sítě pro chaty, chalupy, dílny nebo rozvojové oblasti. Lis je poháněn klikou a adekvátním ozubeným soukolím, díky kterému dosáhne lis potřebného výstupního momentu.



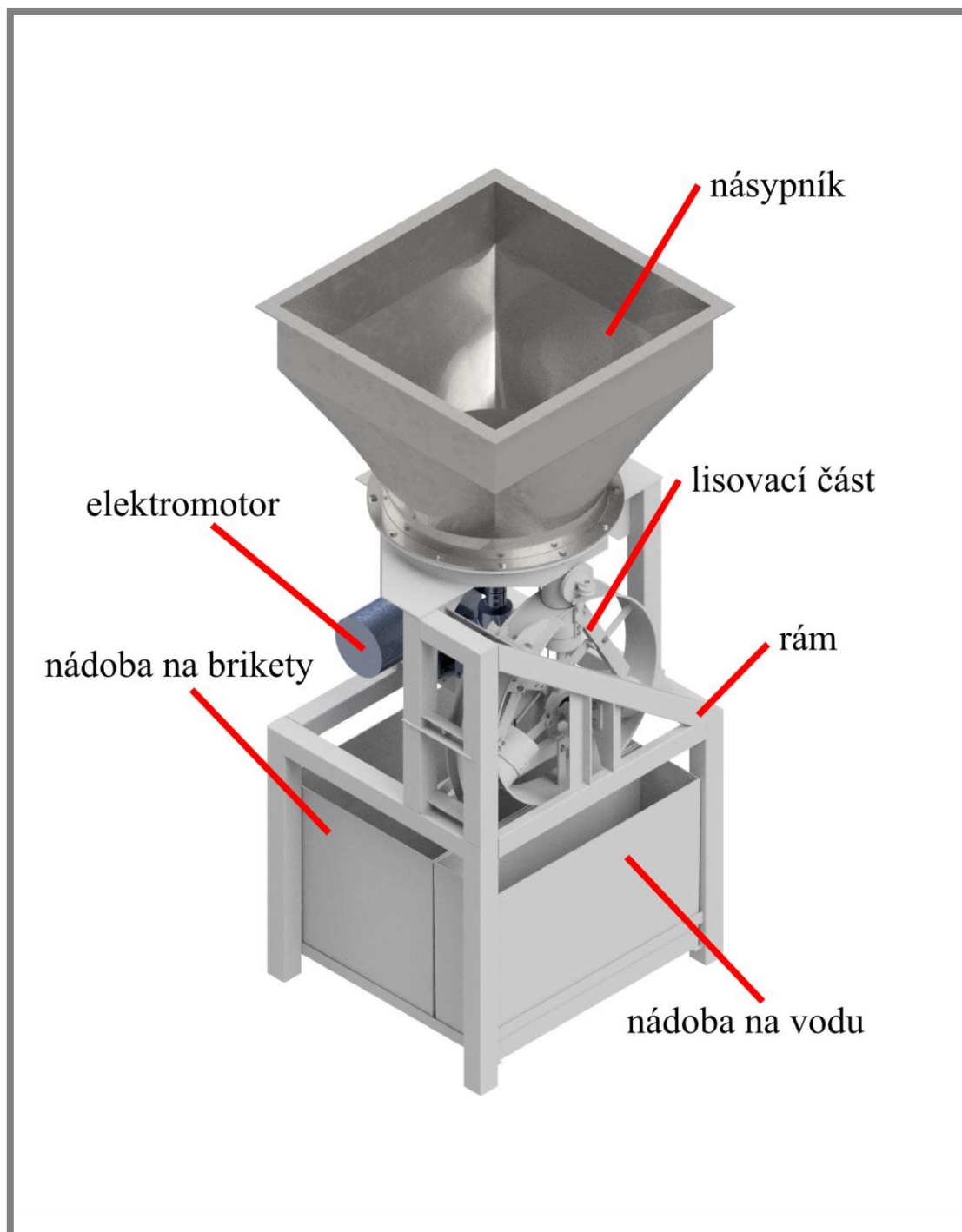
Obr. 4-9 Ruční pohon

4.4.2 Elektrický pohon

4.4.2

Elektrický pohon velmi zrychlí výrobu briket a díky synchronizaci s ostatními pohybovými částmi téměř zautomatizuje výrobu briket.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



Obr. 5-0 Konstrukce lisu

Lis lze pro přehlednost rozdělit podle (obr.5-0) do několika hlavních částí:

- Lisovací část
- Násypová a plnicí část
- Pohon lisu
- Rám

V lisovací části probíhá lisování briket a je zde potřeba zjistit potřebné zatížení, které se musí vynaložit na vznik briket a dodatečných výpočtů namáhaných částí. Násypová a plnicí část je k sobě blízko spojena a je řešená v jedné kapitole. Všechny pohybové části jsou spojeny jedním elektrickým pohonem. Brikety po vylisování putují do zadní nádoby lisu. Pro přebytečnou vodu je samostatná nádrž v přední části. Rám lisu drží sestavu pohromadě.

5.1 Stručný popis funkce mechanismu

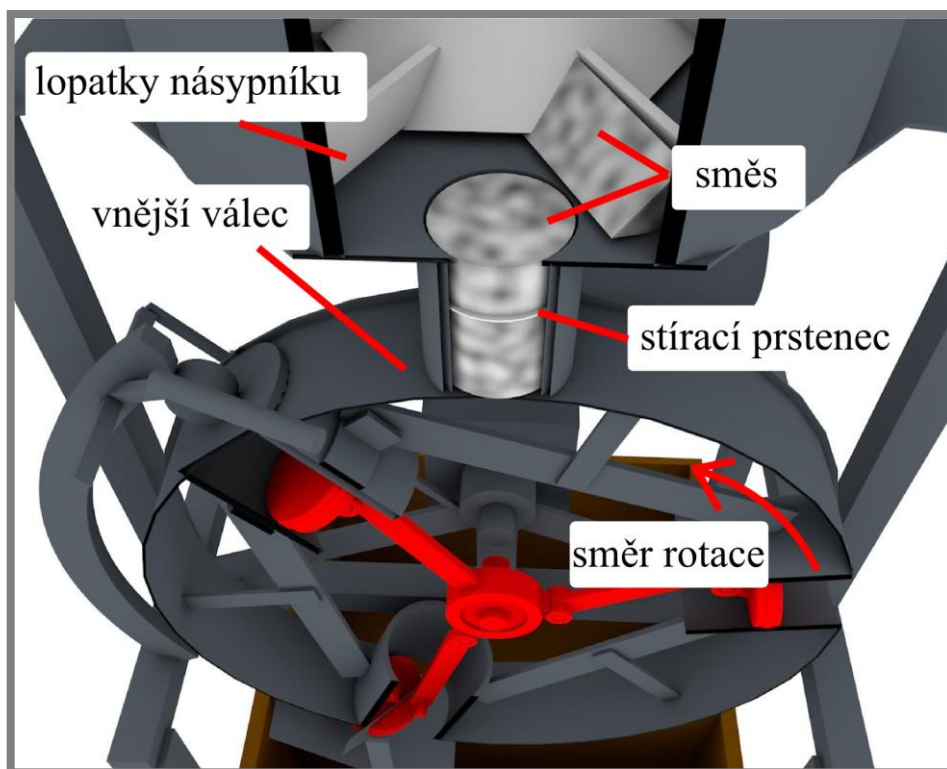
5.1

Pro lepší orientaci v dalších podkapitolách je klíčové pochopit základní kroky celého navrhovaného lisu. Proto je už zde uveden celý postup lisování s navrhovanými díly.

5.1.1 Plnění dávkovače

5.1.1

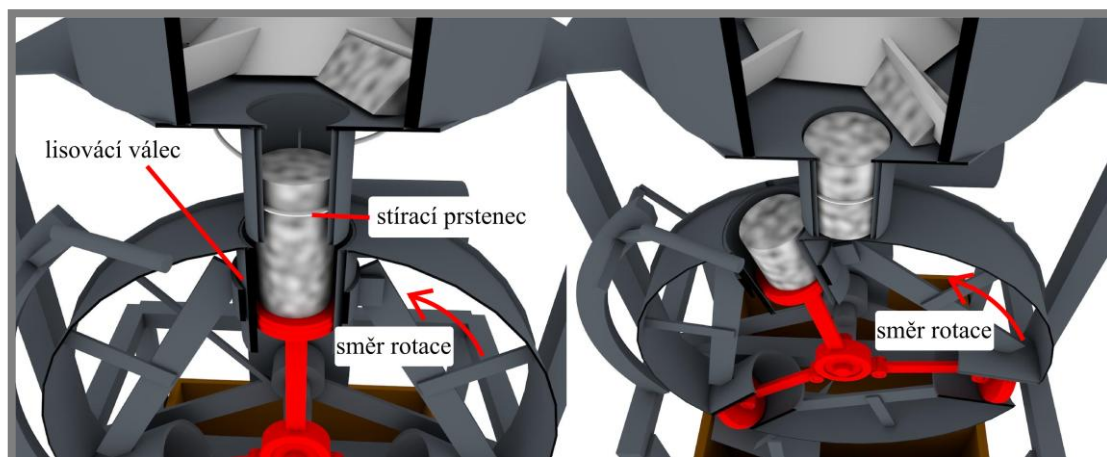
Podle (obr 5-1) je papírová směs s vodou v násypníku vláčena po jeho dně a hlavní funkcí lopatek je dostat směs do dávkovacího válce. Dno dávkovacího válce tvoří vnější válec, který rotuje spolu s písty a ojnicemi proti směru hodinových ručiček.



Obr. 5-1 plnění dávkovače

5.1.2 Přesun směsi do lisovacího válce

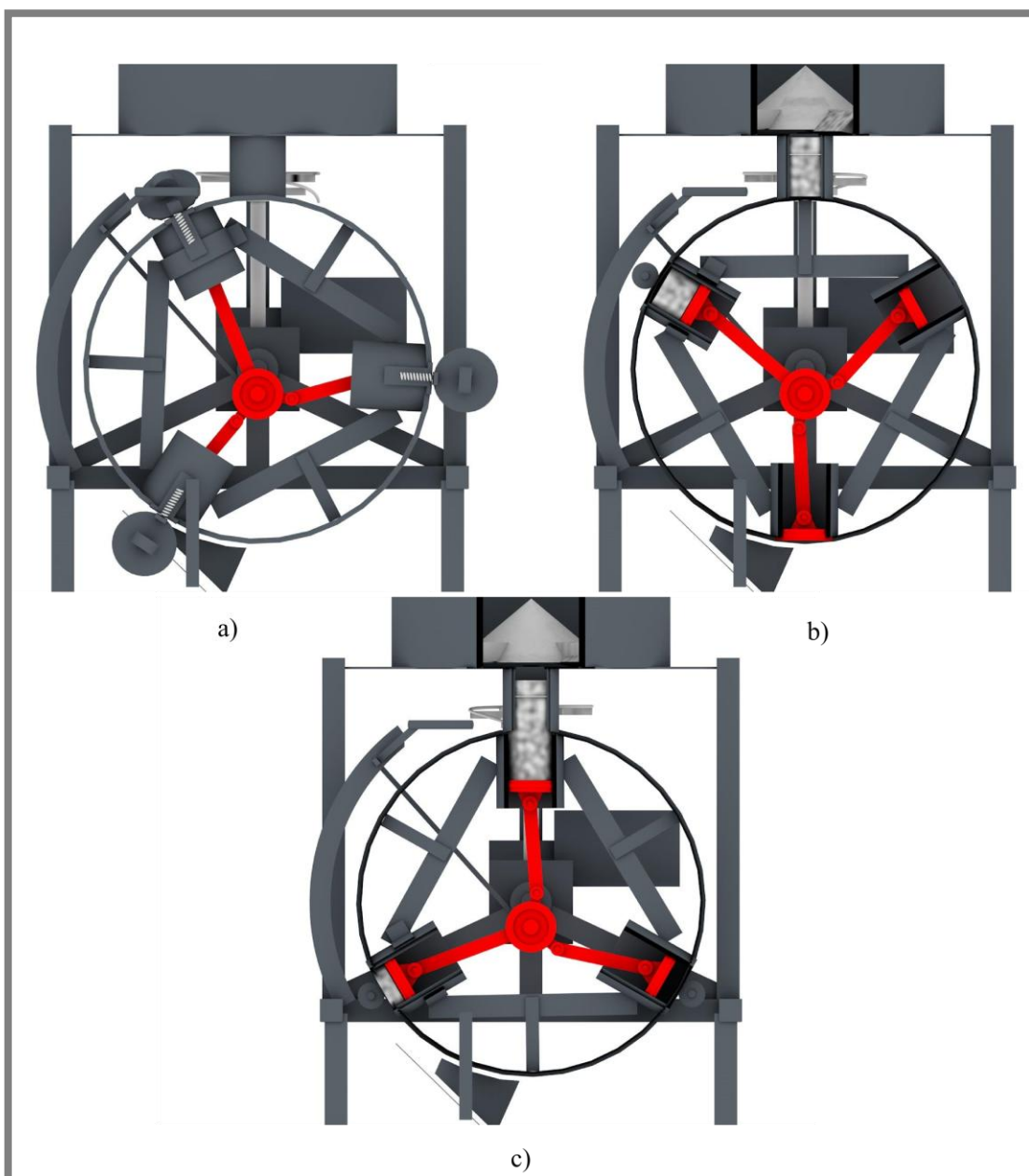
Ve chvíli, kdy lisovací válec je přímo pod otvorem dávkovacího válce (obr), stírací prstenec pomocí stlačené pružiny vytlačí do spodního válce část směsi. Přebytečná směs je v dalším průběhu rotace mechanismu odstřižena.



Obr. 5-2 Dávkování válce

5.1.3 Lisování briquet

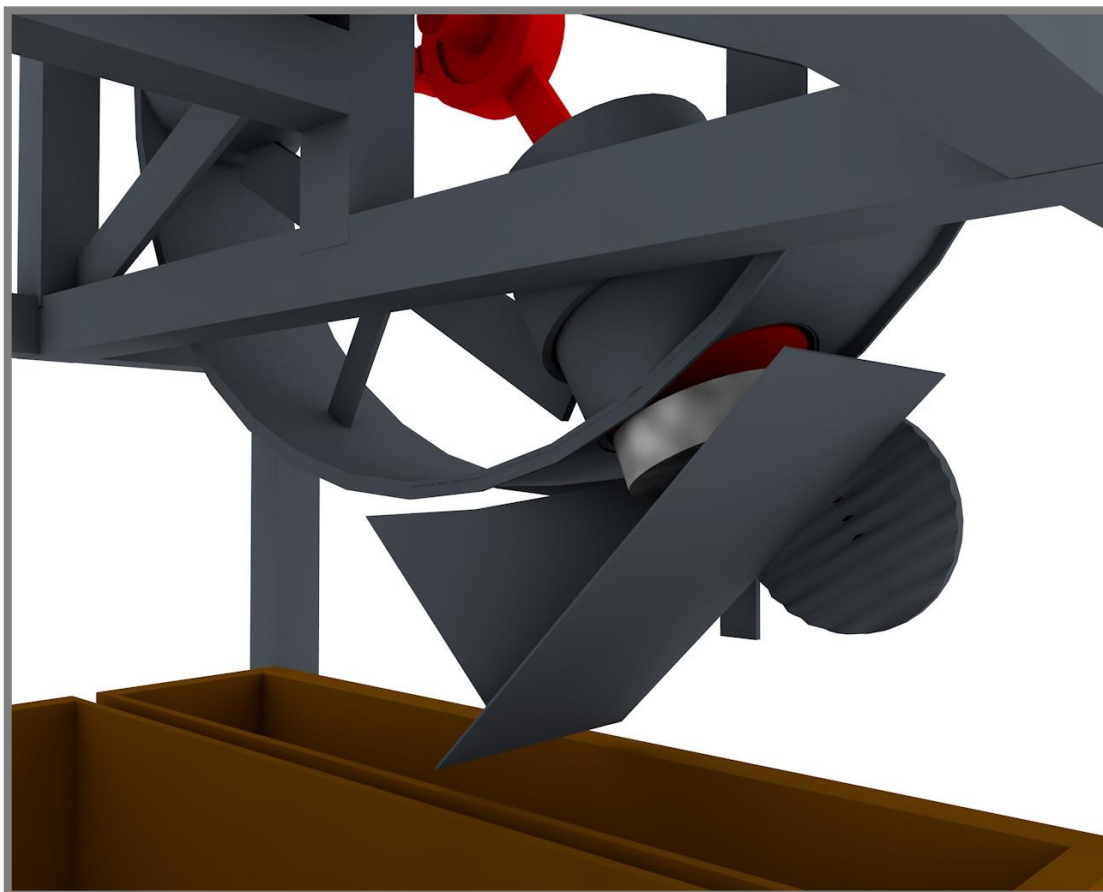
Po odstřížení se dostává rotací válec do úrovně zavírání víka viz (obr 5-2), kde boční oblouk postupně uzavře válec. Postupnou rotací se zvyšuje horní úvrať lisu a dochází k lisování briquet. Boční oblouk zde drží víko uzavřené, hladký kruhový pojezd po oblouku zajišťuje rolna, která je součástí víka. Při úhlu 115° dojde k největšímu stlačení, po konci oblouku následnému otevření víka pomocí tažné pružiny. Veškerá přebytečná voda odtéká drážkami ve víku a zteče po vnějším válci do spodní nádoby pod lisem.



Obr. 5-3 lisování briquet a) zavírání víka, b) postupné stlačování směsi, c) otevření víka a vytlačení briquet

5.1.4 Plnění dávkovače

Již vytvořená briketa (obr 5-4) je bez odporu vytlačena pístem z válce a je postupně odtrhnuta od povrchu pístu šikmým plechem. Briketa odpadne a tíhou je svezena do nádoby pro hotové brikety.

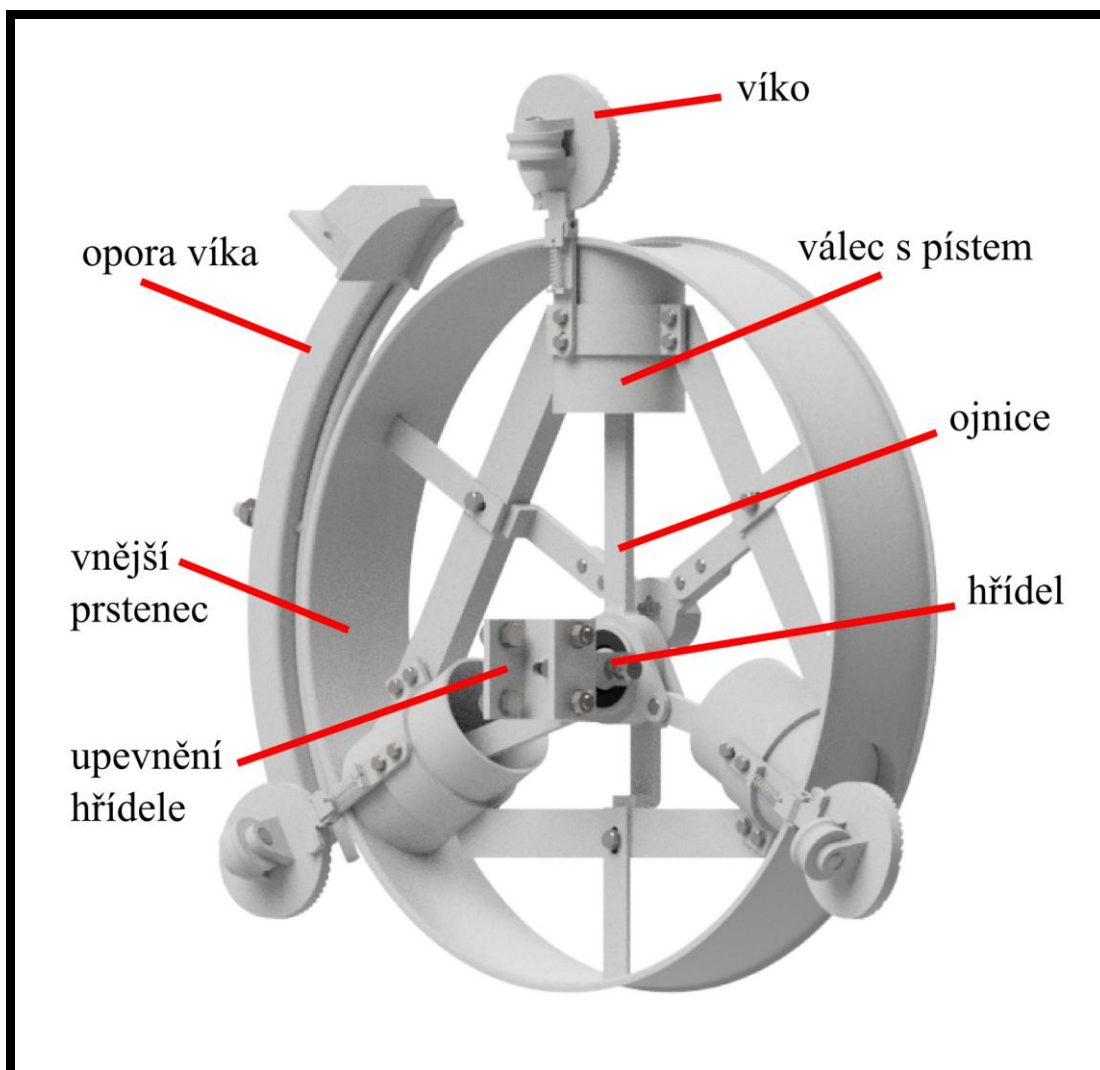


Obr. 5-4 Dávkování válce

5.2 Lisovací část

5.2

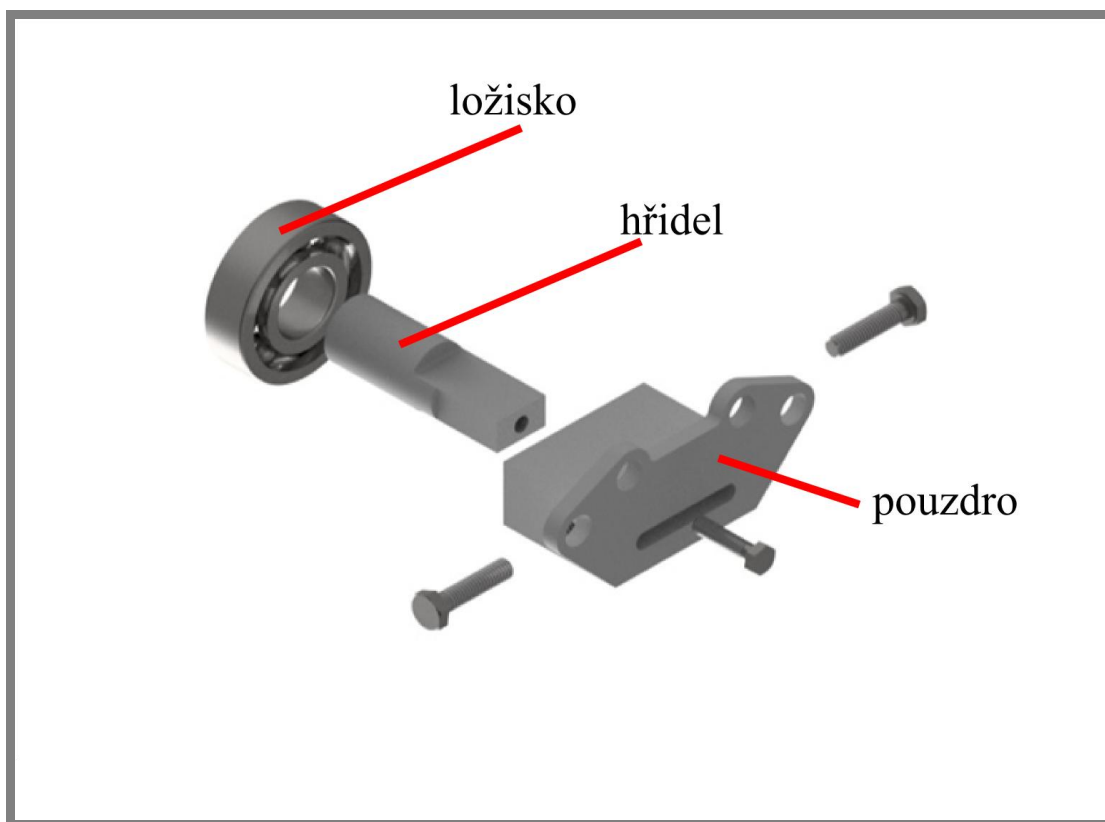
Tato část lisu je nejvíce popsána z důvodu mnoha důležitých dílů.



Obr. 5-5 Dávkování válce

5.2.1 Hlavní hřídel

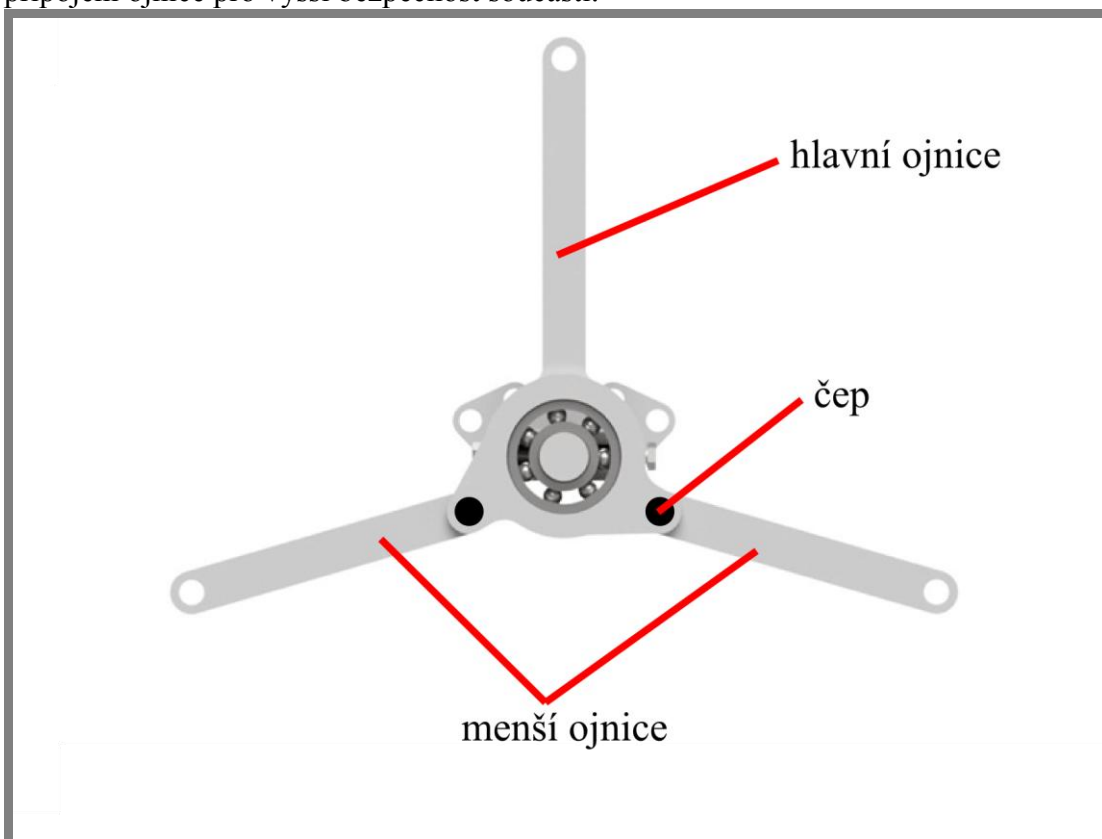
Jedna z hlavních dvou opěr v mechanismu je hřídel. Kolem této pevné hřídele se odvalují pomocí ložiska ojnice a plní funkci nastavení zdvihu při stlačování směsi. Ložiska jsou z obou stran chráněna před vlhkostí gufery. Nastavení zdvihu je umožněno díky horizontálnímu posunu hřídele vůči rámu a následného zajištění proti pohybu v činnosti lisu pomocí tří šroubů. Výška brikety pro základní nastavení je 16 mm a je možná upravit na rozmezí 5 až 27 mm. Je to vhodné z důvodu různých směsí a množství vody, které mění optimální nastavení lisu. Optimálním nastavením lisu rozumíme největší tlak na briketu při nepřetíženém chodu elektromotoru. Briketa je schopna vyrobít se i za menších tlaků, ale výsledkem je velký podíl zbytkové vlhkosti.



Obr. 5-6 Dávkování válce

5.2.2 Ojnice

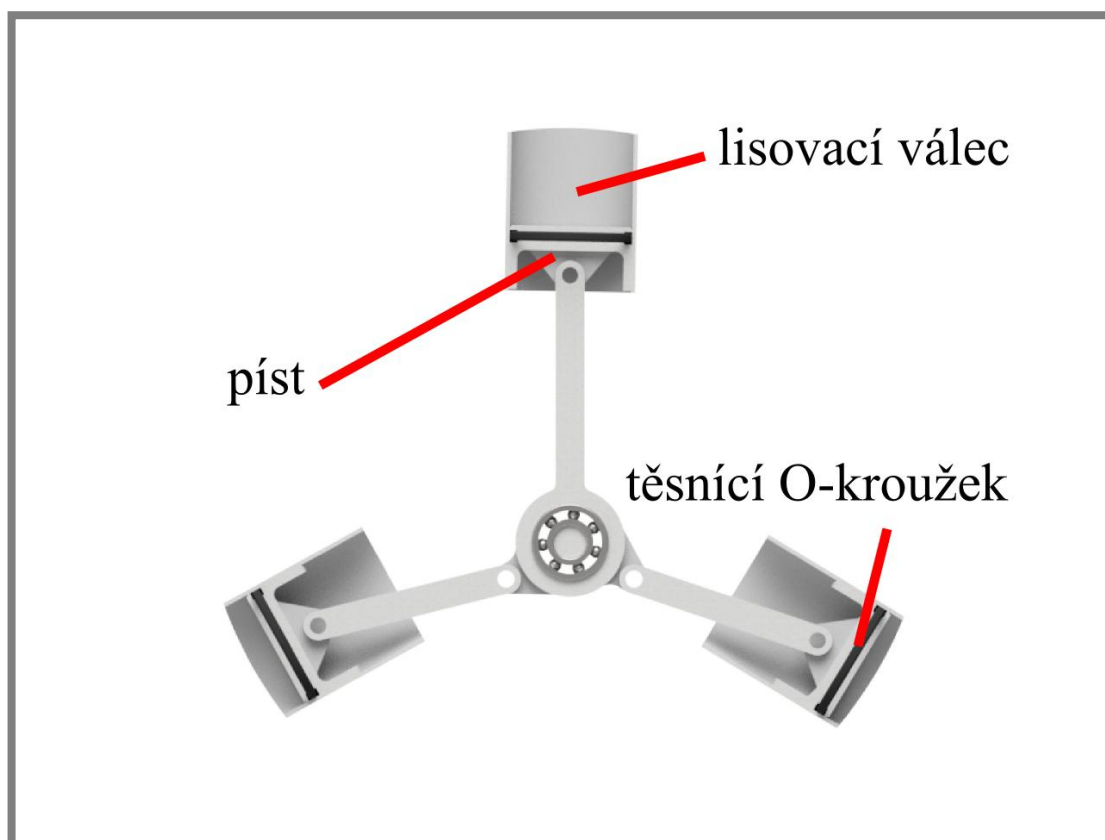
Ojnice je nalisovaná na ložisku. Plní funkci přenosu síly přes píst k hřídeli a pomocí pístu převádí rotační pohyb na posuvný. Konstrukčně a výrobně nejvhodnější bylo zhotovení hlavní ojnice a k ní dvě menší ojnice přidělané čepy. V průběhu rotace dohází ke změnám úhlů mezi ojnicemi, a to se projeví nepatrnou změnou zdvihu a působení síly mimo osu hřídele. Vzniká moment, který je vyrovnán pomocí hlavní ojnice. Ze stejného důvodu je vytvořena podpora za čepem u každého připojení ojnice pro vyšší bezpečnost součásti.



Obr. 5-7 Dávkování válce

5.2.3 Písty a válce

Písty, které tvoří relativní posuvný pohyb ve válcích a tlačí přímo na lisovanou směs jsou opatřeny o-kroužky. Ty by měli zamezit průchodu vody skrz píst směrem k hřídeli. Zde je potřeba jemného povrchu válce s drsností odpovídající $Ra\ 0,4\ \mu m$ [3] pro zajištění dostatečné těsnosti. Každý píst má dva dlouhé výstupky pro správné vedení pístu ve válci a zamezí nesprávnému natočení pístu. Ke spojení ojnic a pístů jsou použity nalisované čepy.

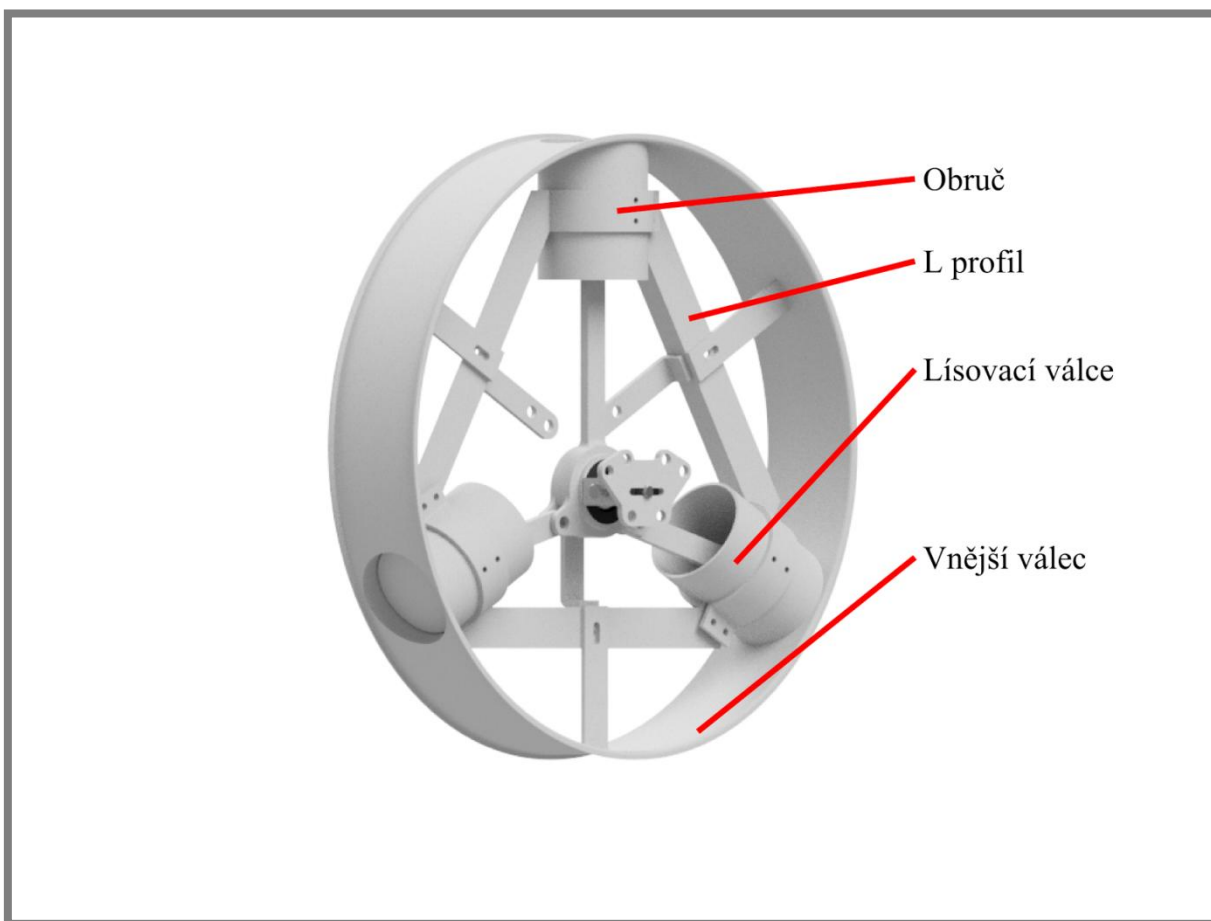


Obr. 5-8 Dávkování válce

5.2.4 Rotační rám

5.2.4

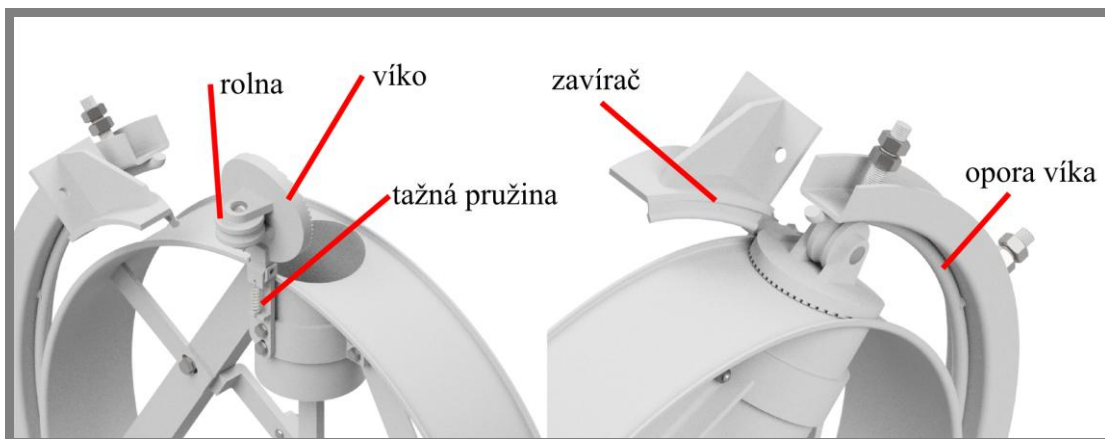
Lisovací válce jsou chyceny do obručí. Tyto obruče drží pomocí třecí síly vyvolané šrouby válce v potřebné výšce. L profily jsou spojeny svařeny a šrouby dohromady s obručemi. Navíc jsou válce navzájem spojeny s vnějším válcem, který plní několik funkcí.



Obr. 5-9 Dávkování válce

5.2.5 Víko

Součást, která umožňuje v potřebném úhlu natočení válce otevřít nebo zavřít lisovací komoru. V referenční poloze je víko otevřené, této poloze dopomáhá tahová pružina (obr. 5-10), která tahá víko do otevřené polohy. K uzavřené poloze dopomůže zavírač a po celé době stlačování směsi je víko stále zavřené. Pro pohyb lisu bez třecích odporu je na víku přidána rolna s ložiskem. Rolna se odvaluje po opoře víka a na konci stlačování se víko pomocí pružiny opět otevře.

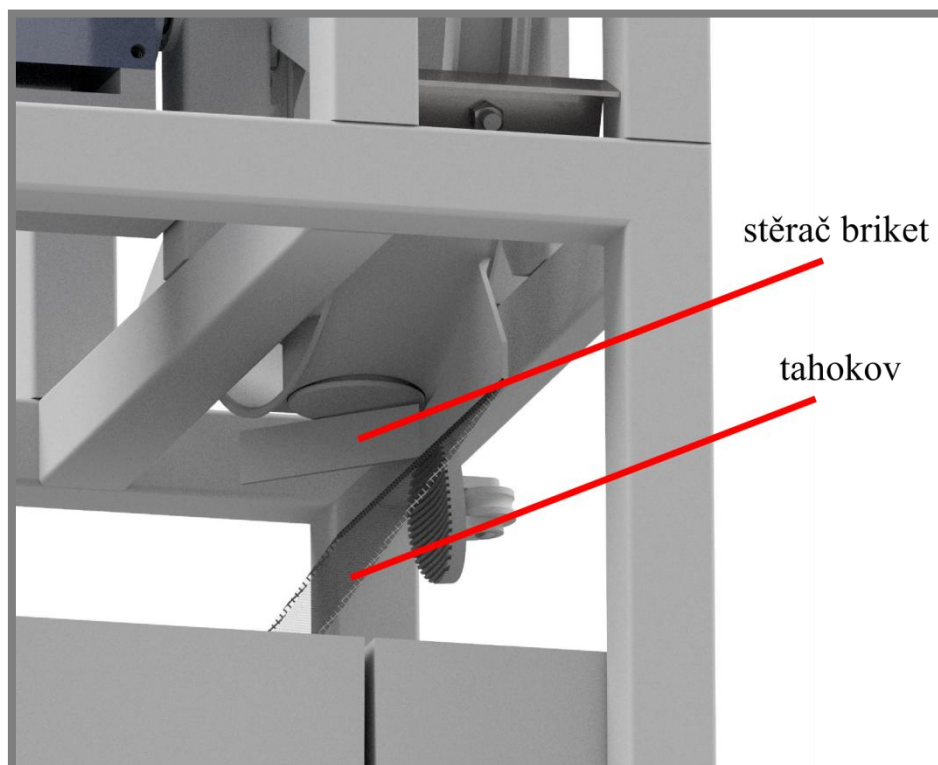


Obr. 5-10 Dávkování válce

5.2.6 Vyhazovač briket

5.2.6

V poslední fázi výroby lisování se musí dostat briketa do určené nádoby. Tento proces zajišťuje stěrač briket (obr. 5-11), který dokáže odtáhnout briketu z povrchu pístu. Samospádem pak briketa sjede po tahokovu do nádoby. Přebytečná voda propadne skrze tento tahokov do nádrže přímo pod písty.



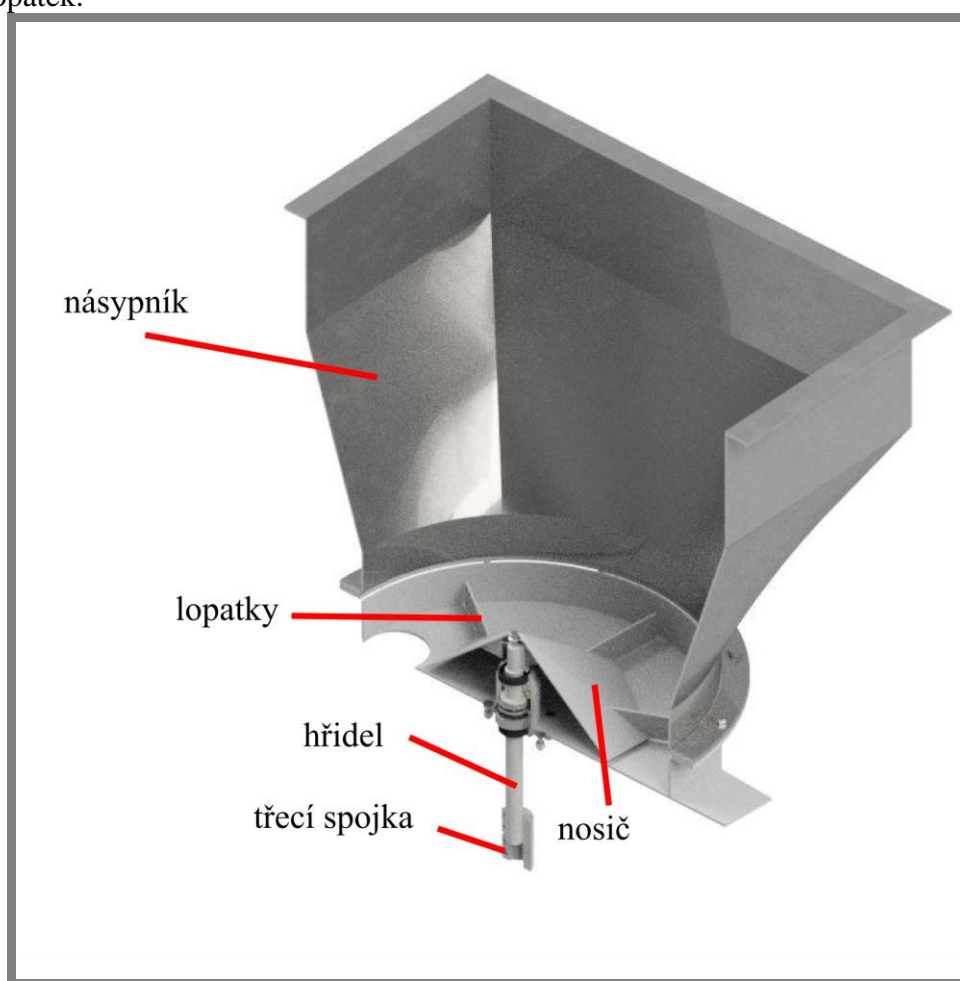
Obr. 5-11 Vyhazovač briket

5.3 Násypník a dávkovač

Pro plnění válců je přizpůsoben dávkovací mechanismus, který se spojení s násypným prostorem.

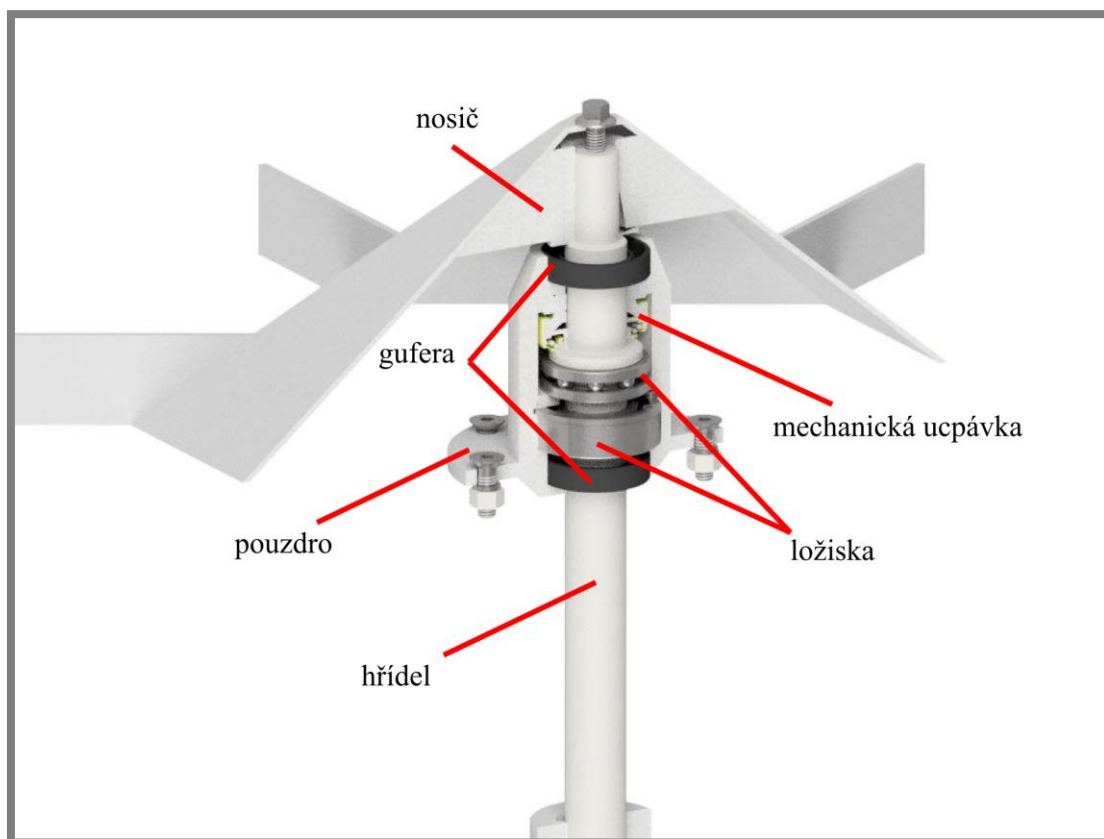
5.3.1 Násypník

V řezu (obr. 5-12) násypníku je zobrazena celá horní nádoba. Objem násypníku odpovídá 130 litrům, která by měla stačit na výrobu 500 kusů briket. Tvar násypníku začíná čtvercovým profilem z důvodu snadnějšího spojení s vnějším krytem lisu. Končí kruhovým tvarem kvůli menšímu usazování nečistit v hranách na dně násypníku, které by vznikali použitím N-úhelníku. Hřídel přenáší krouticí moment do lopatek.



Obr. 5-12 Násypník

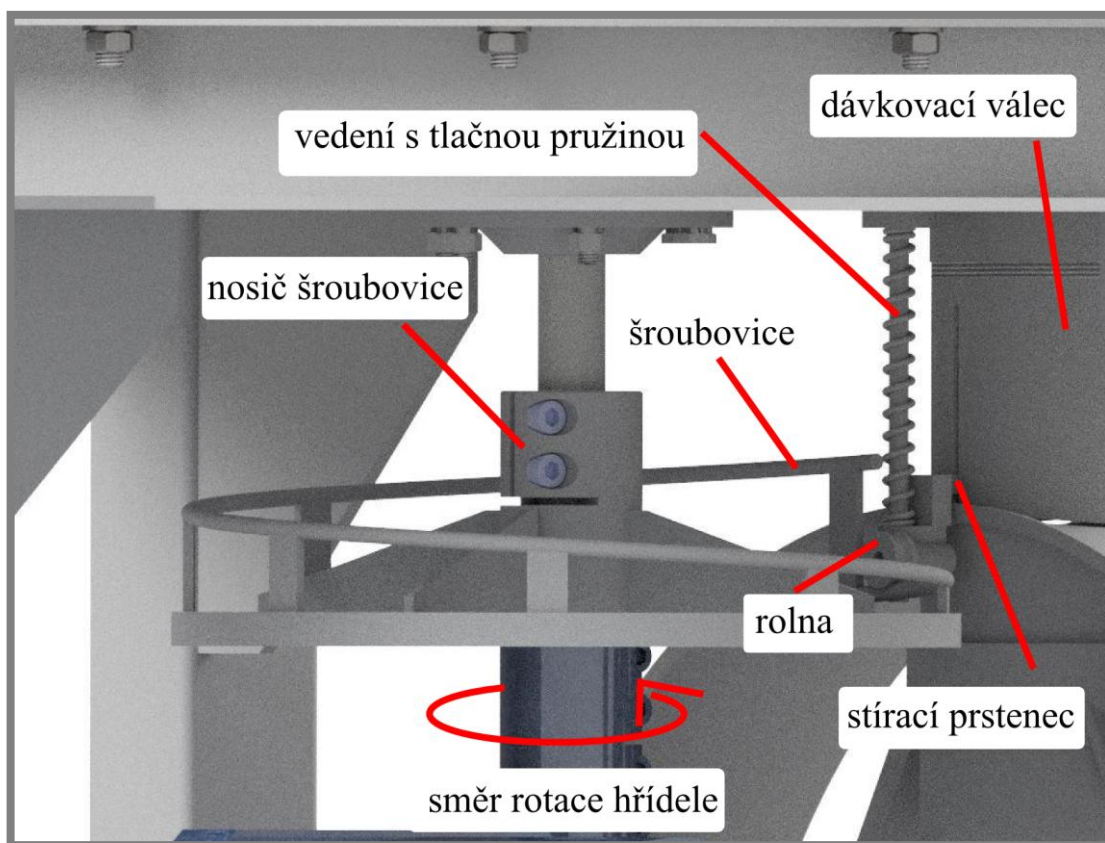
Na dalším obrázku (obr. 5-13) je viditelnější pohled na nosič lopatek. Zde jsou 2 ložiska pro axiální a radiální sílu působící z tíhy směsi. Potřebnou část tohoto nosiče je dostatečné ucpání proti vniknutí vodě do ložisek a následnému vniknutí do převodové skříně pod tímto nosičem. Tento problém by měla vyřešit mechanická ucpávka. Po upnutí nosiče k hřídeli dojde k přitěsnění ucpávky k hřídeli a k pouzdro.



Obr. 5-13 Nosič

5.3.2 Dávkovač

V průběhu rotace hřídele (obr. 5-14) se pomocí šroubovice a rolny zvedá stírací prstenec. Ten je v maximální výšce šroubovice uvolněn a pomocí tlačné pružiny se rychle vrátí to původní polohy. Tímto dějem prstenec stírá náplň do lisovacího válce.

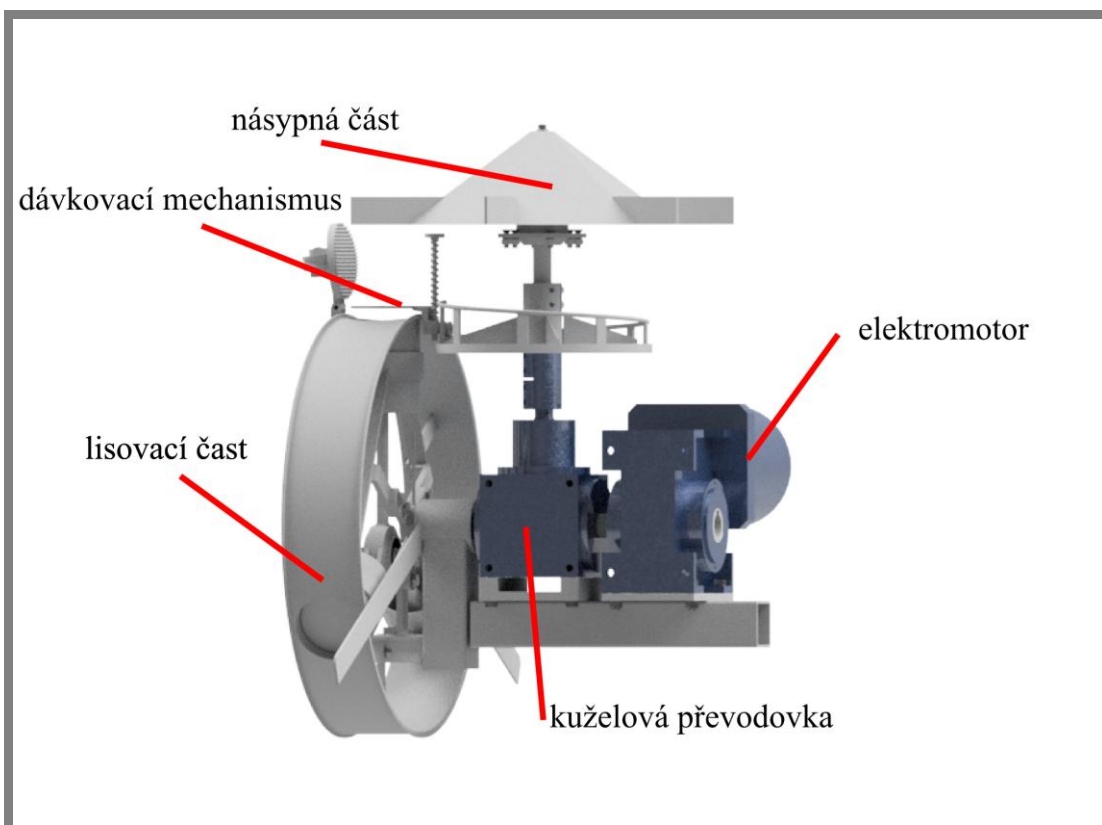


Obr. 5-14 Dávkovač

5.4 Pohon lisu

5.4

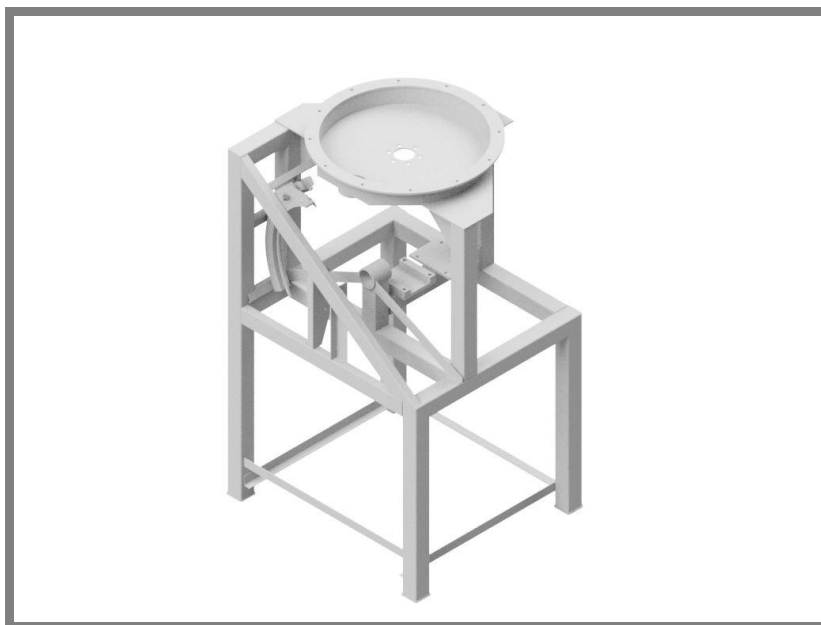
Pohon všech pohybových částí lisu (obr. 5-15) zajišťuje elektrický motor se zabudovanou šnekovou převodovkou. K lisovací části stroje vede pohon přes hřídel napřímo. K násypné části a dávkovacímu mechanismu vede pohon přes kuželovou převodovku, která zajišťuje zrychlení pohonu a tím správnou funkci dávkování.



Obr. 5-15 Pohon lisu

5.5 Konstrukce rámu

Základním profilem použitým na výrobu rámu (obr. 5-16) je použit jekl čtvercového profilu. Další komponenty svařené k tomuto rámu plní většinou nosné účely. V důležitých místech na únosnost je použito žebrování.



Obr. 5-16 Rám lisu

Mezi důležité uzly patří usazení rotujících válců. Jsou zde použita 2 ložiska v uložení k minimální vůli této části.

5.6 Vstupní suroviny

Hlavním a nejdůležitějším podílem směsi je papír. V kombinaci s vodou tvoří základní hmotu pro tvorbu pevných brikety. Nejlépe se zpracovává lepenka, karton, bílý papír, novinový papír. Méně zpracovatelné jsou pak kartony a tvrdší papíry, a nevhodné jsou letáky, časopisy z křídového papíru, papíry voskové, uhlové a znečištěné papíry.

Pro širší uplatnění lisu je možná kombinace základní suroviny papíru a dalších hořlavých materiálů ve vhodném poměru. Mohou vznikat jako odpad při zpracování dřeva například z řezání, broušení, hoblování. Na velikosti pilin závisí množství přidané přísady do směsi. Dále jsou pak využitelné rostlinné odpady jako jsou například makovina, pazdeří, konopí, sláma a umělé dřevo. Je možné použít i drobných zrn uhlí. Nejvhodnější objemové množství tohoto příměsového odpadu je kolem 30%.

Lis by se mohl eventuálně používat jako odšťavňovač ovoce a zeleniny, v případě použití materiálu na lis určenému i k potravinářským účelům.

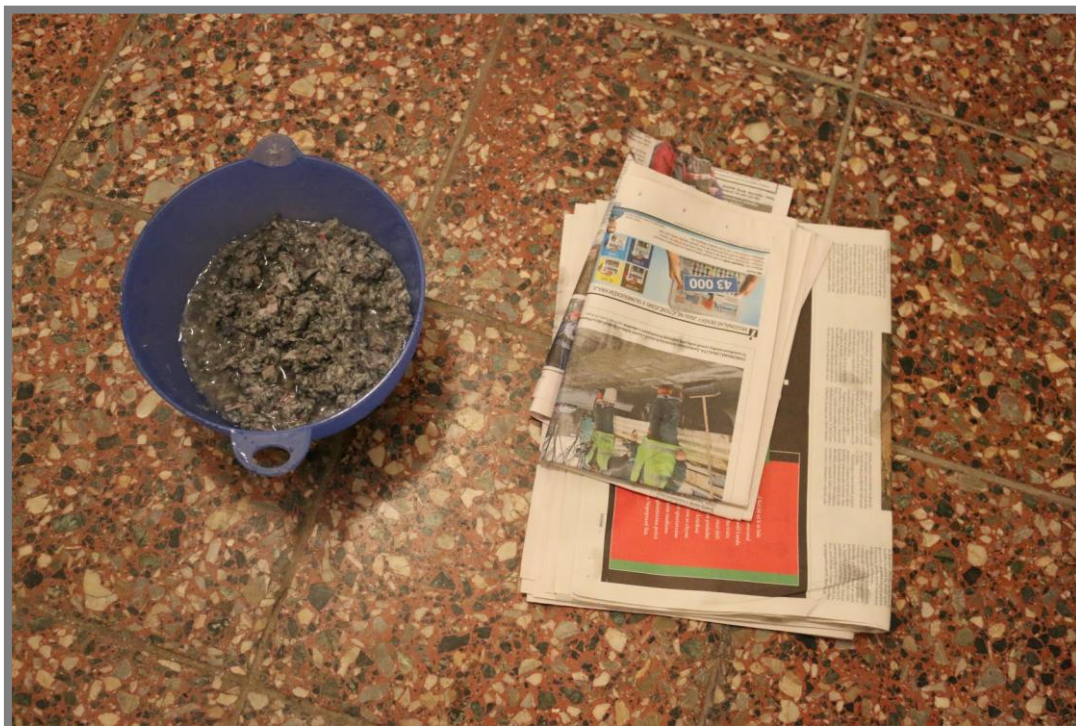
5.6.1 Příprava směsi pro lis

Vstupní suroviny, například hydraulických lisů a jiných, musí být dostatečně vysušeny pro kvalitní výrobu briket. V navrhovaném lisu je tomu jinak, protože se zde voda podílí na pevné struktuře brikety během lisování.

Papír je potřeba rozdrtit na menší útržky ručním drtičem nebo elektrickým drtičem. Druhou variantou je rozdrtit papír přímo po namočení v nádobě s vodou a použitím vrtačkového nástavce na míchání malty nebo nástavec určený přímo k tomuto účelu.

K již rozdrcenému papíru je přidán dostatek vody (Obr. 5-17). Vody nemusí být přesné množství. Pouze je důležité, aby byla směs dostatečně navlhčená a bylo z ní možno ručně vymačkávat vodu. V tomto kroku je možné přidat další již uvedené suroviny. Stále zde platí, čím větší podíl jiných surovin, tím klesá pevnost brikety. Pro lepší vlastnosti směsi je dobré nechat hotovou směs například přes noc odležet.

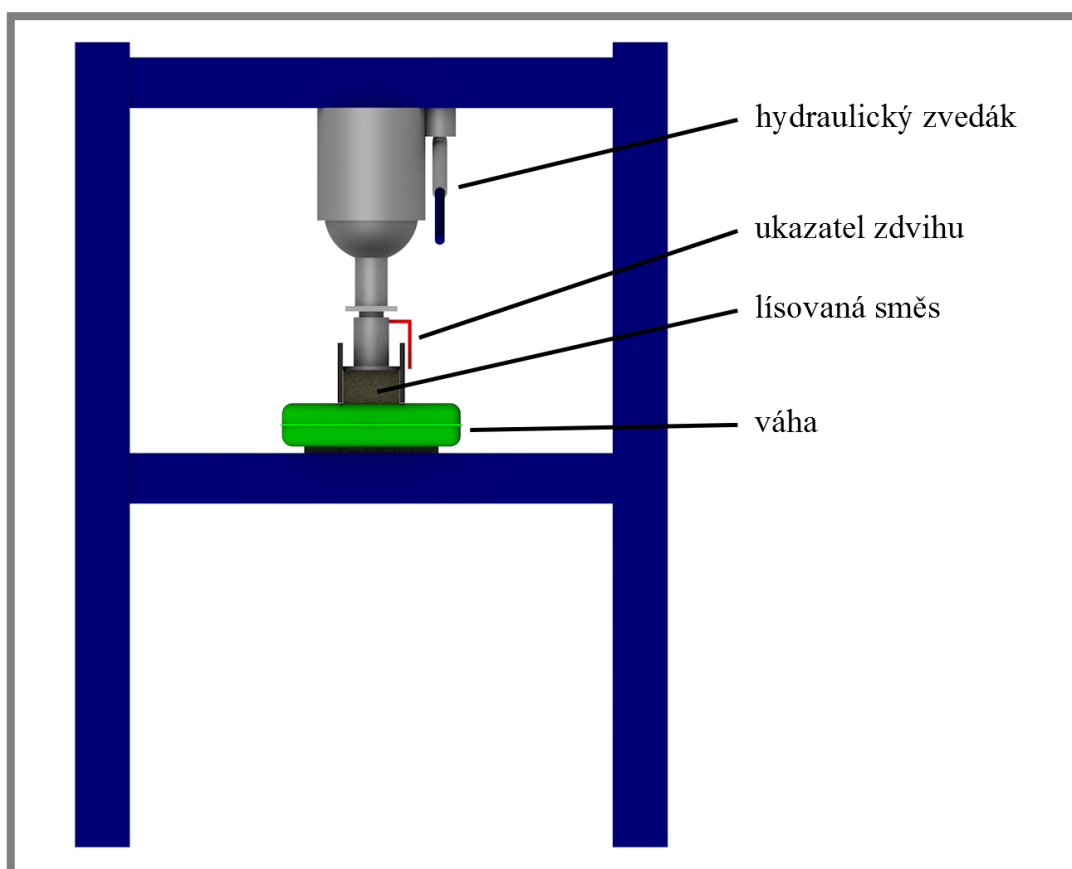
Následný přebytek vody je pak nutno po vylisování vysušit. To lze snadno dosáhnout na slunci bez nutnosti přítomnosti sušáren.



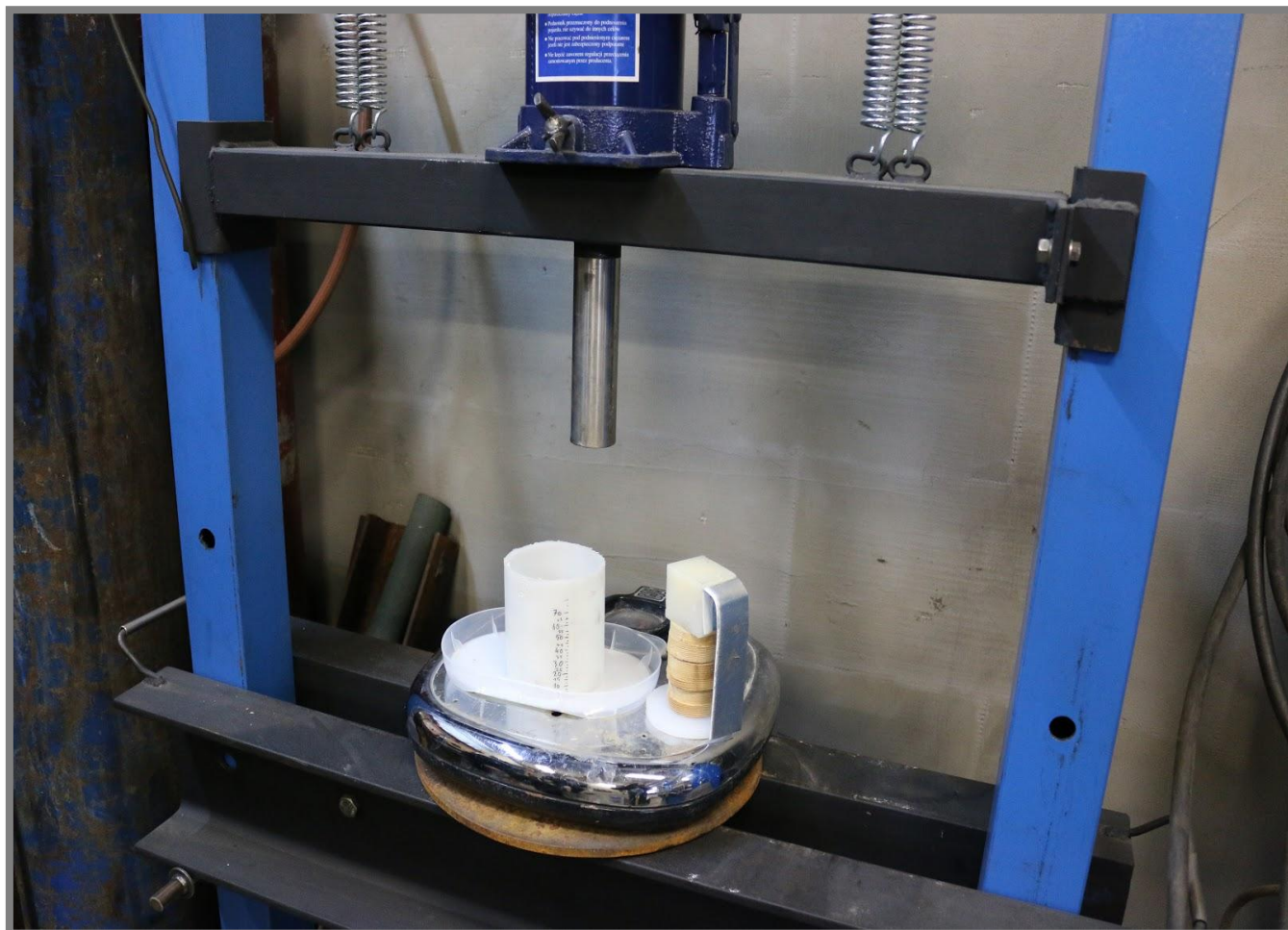
Obr. 5-17 Příprava směsi

5.7 Zkouška lisování briket pro získání potřebné síly

Základním úkolem pro tvorbu lisu je určení potřebného zatížení pro výrobu briket. U dřevěných odpadů bývá maximální provozní tlak lisů při 18 - 24 MPa. Pro výrobu papírové brikety je potřeba daleko menších tlaků. Prakticky bylo zkoušeno (Obr. 5-18, 5-19), jak velké zatížení a tlak je potřeba, aby bylo dosaženo dobrých výsledků. Jednoduchým ručním lisovacím zařízením vybavené hydraulickým zvedákem s nosností 20 tun a osobní váhou do 130 kilogramů, bylo za pomoci plastové trubky a plastového pistu vytvořeno jednoduché zařízení, které tyto brikety lisuje a zároveň ukazuje okamžitý zdvih a zatížení na váhu



Obr. 5-18 Zkouška lisování



Obr. 5-19 Zkouška lisování

5.7.1 Postup a výsledky pokusu

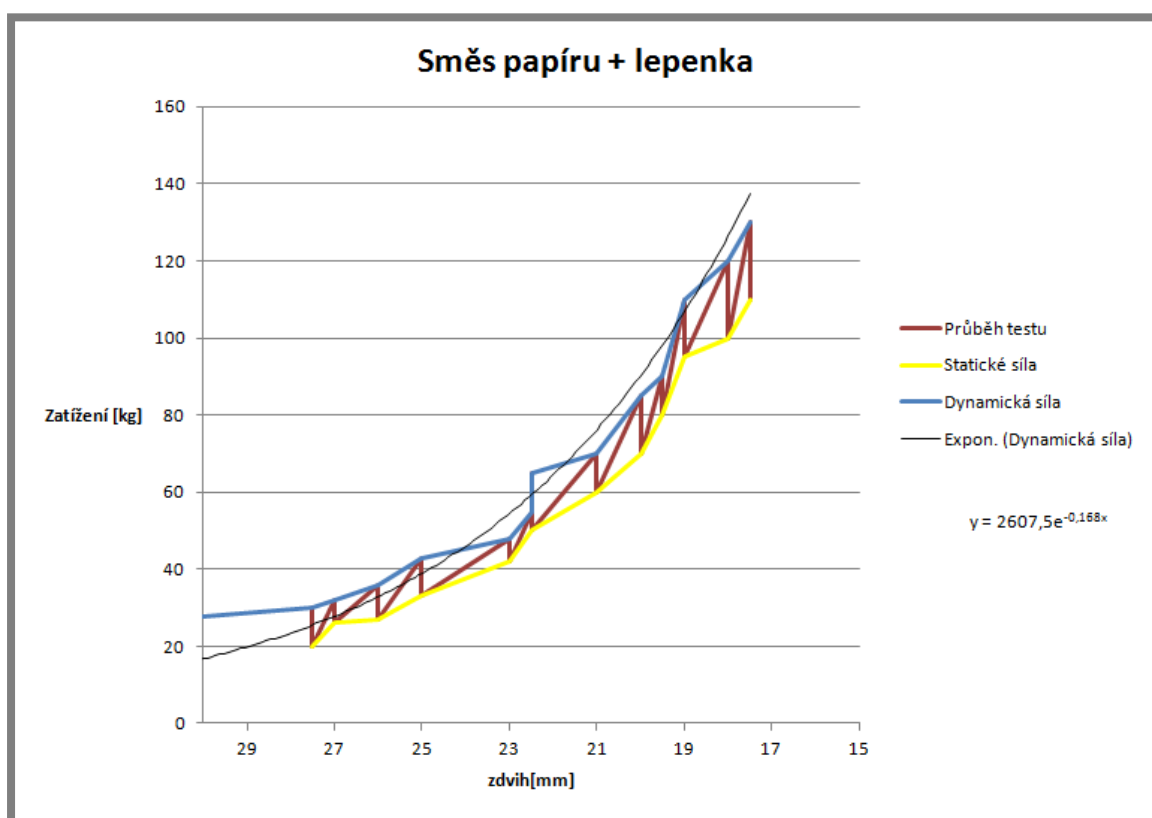
Naměřené hodnoty byly získány stlačováním různých směsí. Každá směs byla testována dvěma pokusy, z nich byla vytvořena průměrná hodnota a zapsána do následující tabulky. Z tabulky je zřejmé, že u novinového papíru dochází k největším změnám v objemu, je to způsobeno tenkými vrstvami papíru. Při lisování různého typu materiálu a nadále spolu s pilinami se objem (výška) výsledné brikety příliš neliší. U pilin bez papíru docházelo ke stejnému stlačení, ale po vytažení z válce briketa neudržela svůj tvar z důvodu chybějícího pojiva. Pro ukázkou bylo zkoušeno lisování jablek za účelem výroby moštu, kde lis splnil i tento účel.

Tab. 2 Zkouška lisování různých směsí

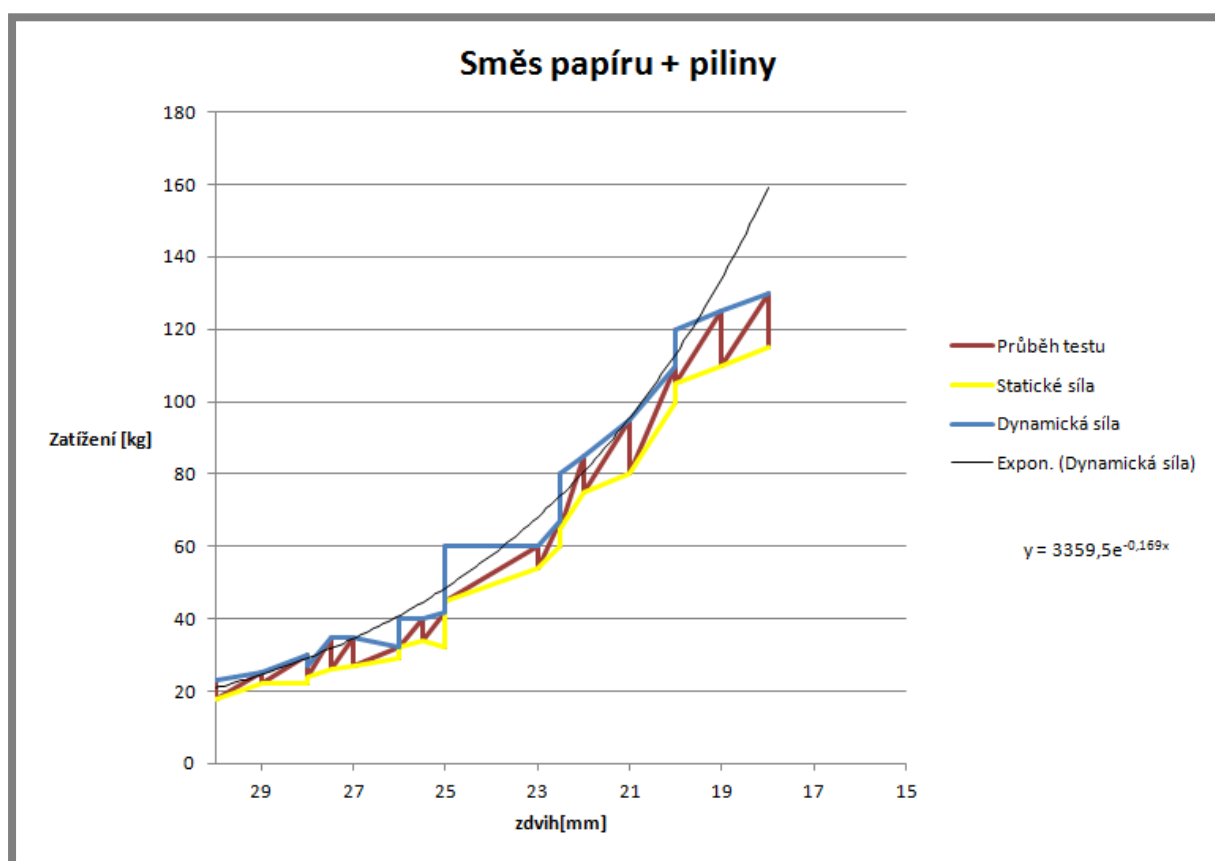
Zatížení [N]	Použitý materiál a výška výlisku [mm]				
	Novinový papír	Papír+lepenka	Piliny+lepenk a	Piliny	Jablka
0,1	60	60	60	60	60
100	30	37,5	36	35	60
200	25	30	31	30	55
300	22,5	27,5	27	27,5	52,5
400	19	25	25	25	48
500	18	24	24	25	45
600	16	22,5	22	22,5	42,5
700	15,5	20	22	22,5	40
800	15	20	21	22	37,5
900	14,5	20	20	21	37,5
1000	13,5	19	20	20	35
1100	13	18	19	20	35
1200	12,5	18	18	19	34
1300	12	17	18	18	33

5.7.2 Statické a dynamické zatěžování

Důležitá skutečnost, kterou je potřeba brát v úvahu je to, že v průběhu stlačování dochází k vytlačování vody ze směsi a těmito ději vzniká odpor, který se projeví právě na výsledné vyšší hodnotě dynamického zatížení oproti statickému a musíme ho překonat. Z naměřených hodnot se zjistilo, že se liší přibližně o 30% od síly statické. Také platí, čím rychlejší stlačení, tím vyšší odpor a tím vyšší dynamická síla. Statickou sílu představuje taková hodnota, která se po chvíli ustálila na váze během pokusu lisování. Tyto dvě různé síly vznikly z důvodu pákového hydraulického zvedáku, který byl při pokusu použit, a kde není možné vytvořit ideální průběh stlačování jako u konstruovaného lisu. Tento děj byl vykreslen z dvou různých testů nejméně stlačitelných směsí do grafu a vytvořen vhodnou spojnicí trendu pro dynamickou sílu. Tato síla by měla simulovat průběh zatěžování u navrhovaného lisu.



Obr. 5-20 Směs papíru + lepenka

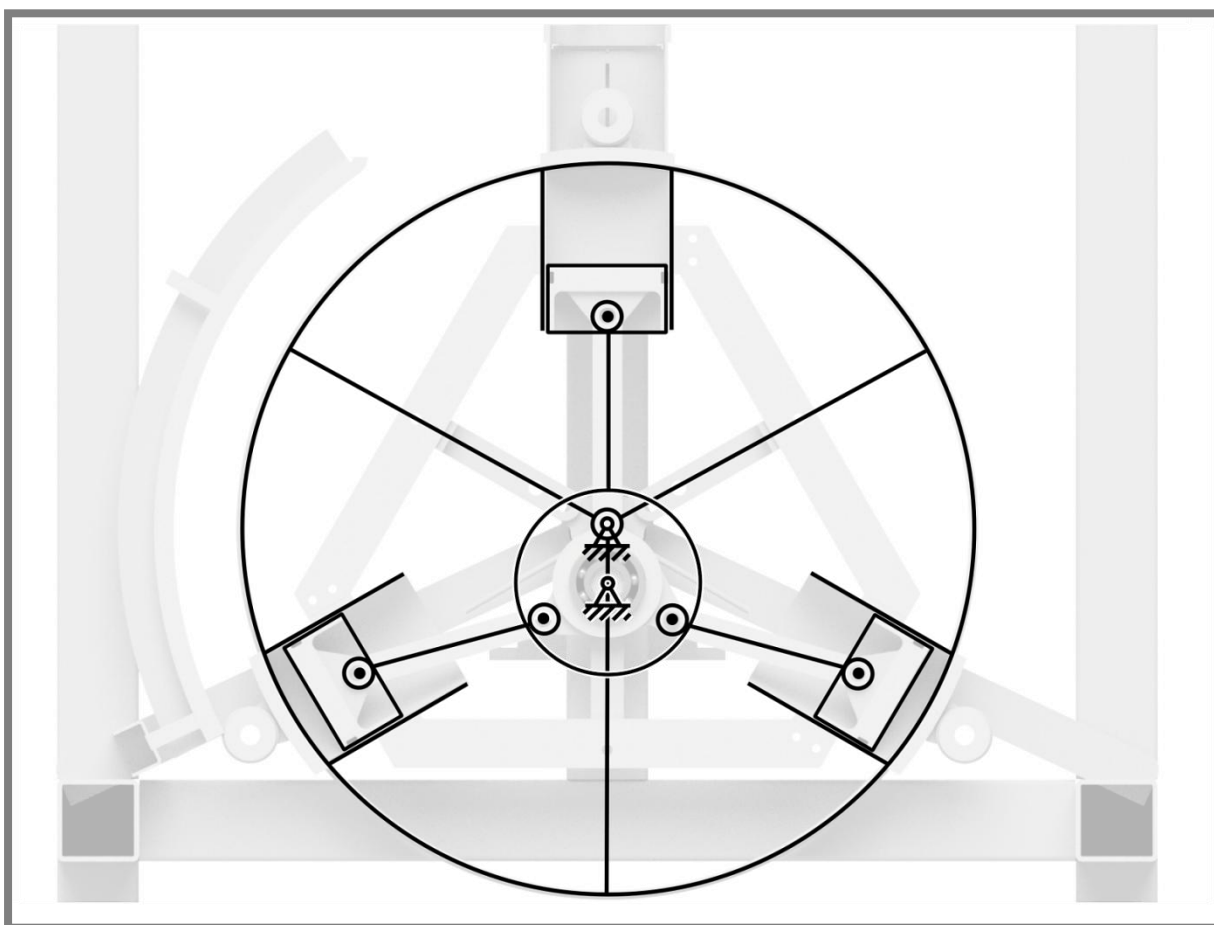


Obr. 5-21 Směs papíru + piliny

5.8 Kinematický rozbor

5.8

Pro jednoduché porozumění s mechanismem je vhodné překreslit lis do kinematického schématu (Obr. 5-22), které znázorňuje zjednodušené sestavení. Dále pak k určení potřebných sil pro pohon lisu a pro výpočet bezpečnosti dílů, které jsou v tomto mechanismu nejvíce namáhány.

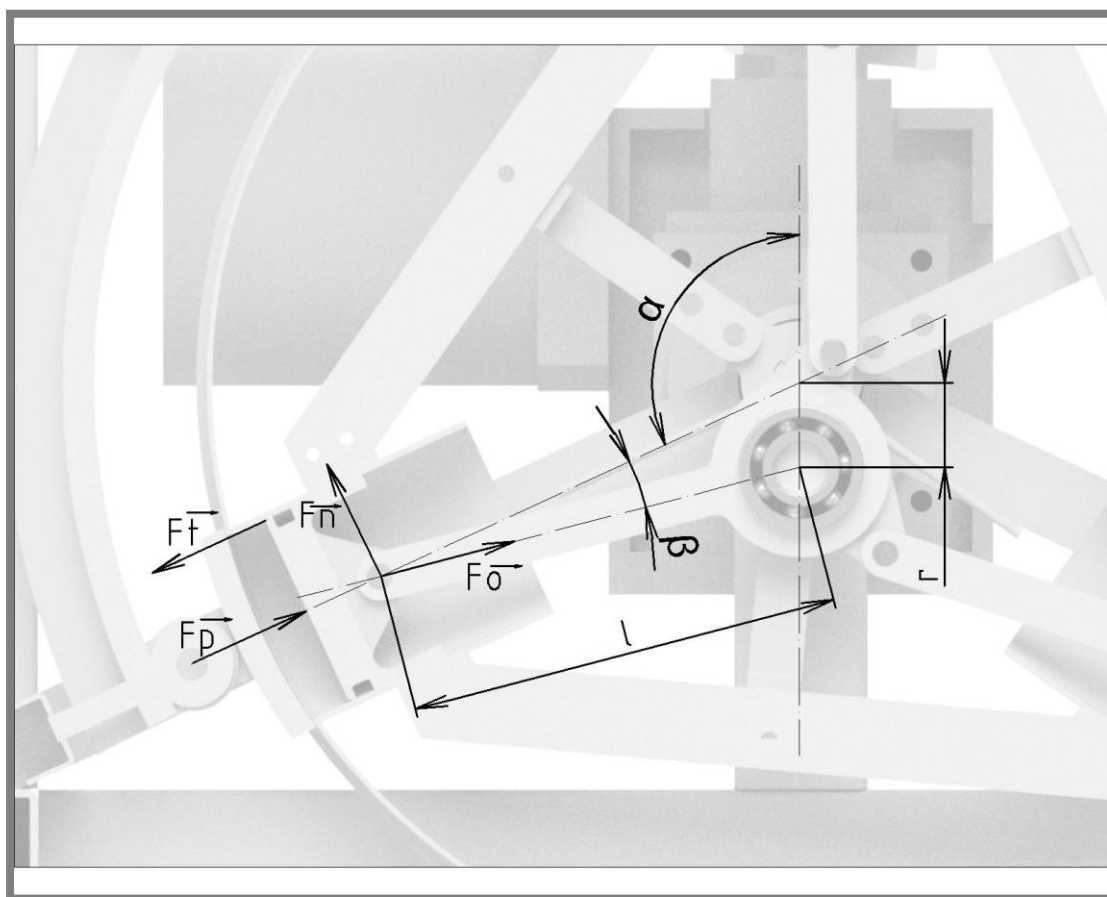


Obr. 5-22 Kinematické schéma

5.8.1 Silový rozbor

Rotační část lisu je tvořena stejnými silami jako u klikového mechanismu spalovacích motorů s rozdílem jiných velikostí sil a také rychlostí otáčení, které u spalovacích motorů jsou vysoká a hrají významnou roli při navrhování motorů. Rychlosti v lisu jsou zanedbatelné a důležité jsou pouze silové složky.

Na obrázku (Obr. 5-23) je možno vidět sílu působící na píst (F_p), vzniká stlačováním směsi a tlačí na povrch pístu. Síla se zde rozkládá z důvodu naklonění pístu vůči ojnici o úhel β na sílu působící v ose ojnice (F_o) a na sílu normálovou (F_n), která působí na stěnu válců. Působí zde i třecí síla (F_t), která působí proti síle F_p .



Obr. 5-23 Kinematický rozbor

Po výpočtech pomocí teorie klikového mechanismu [příloha1] a z funkcí průběhu testovacího lisování, bylo možno určit maximální hodnoty v kritickém místě. Tedy v místě těsně před otevřením víka:

Maximální síla na píst:

$$F_{p,max} = 2212 \text{ N}$$

Maximální síla na hřídel:

$$F_{o,max} = 2310 \text{ N}$$

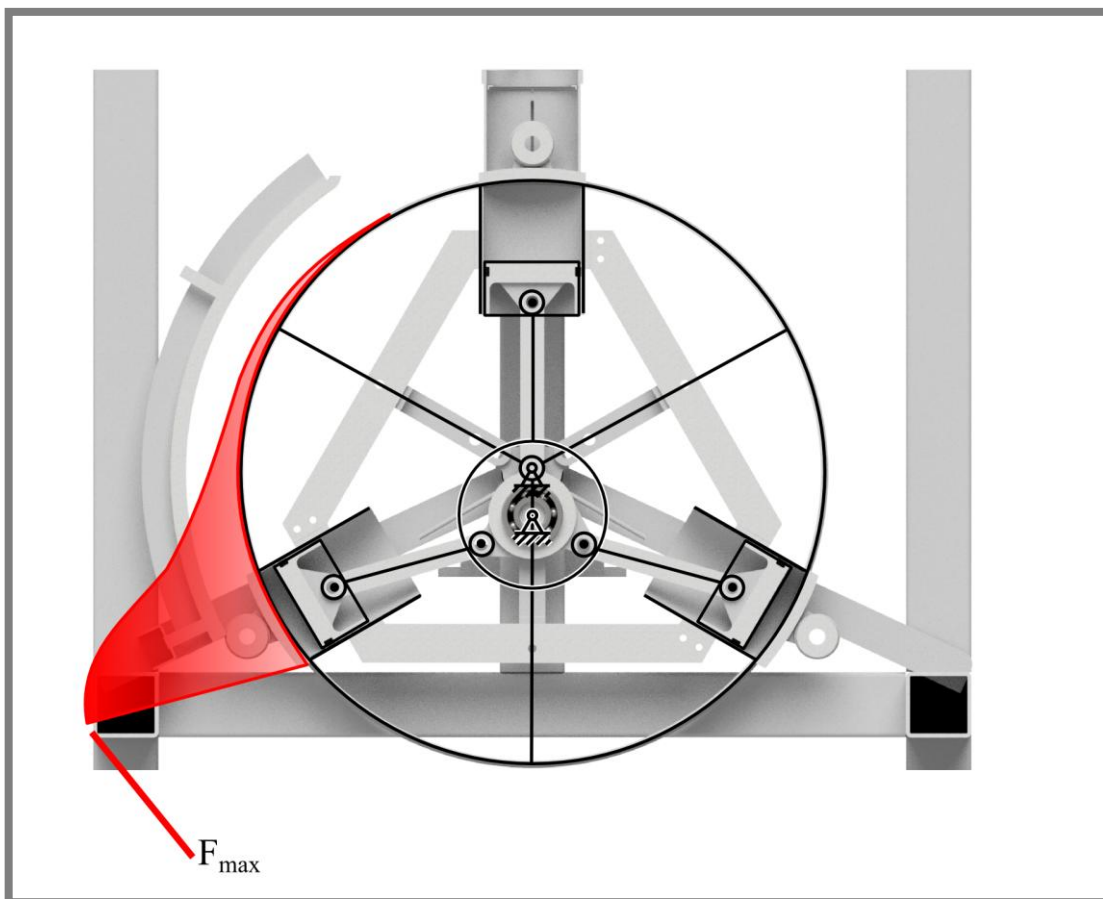
Maximální síla normálová síla:

$$F_{n,max} = 407 \text{ N}$$

Třecí síla:

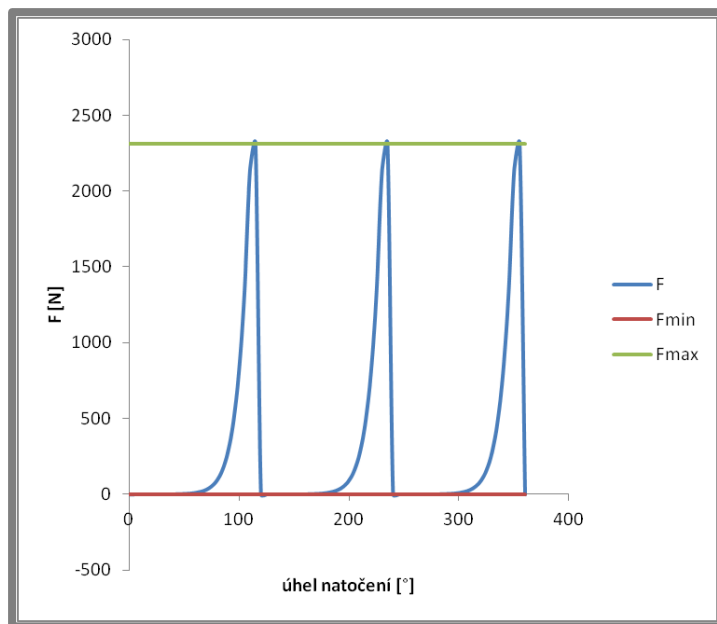
$$F_t = 62 \text{ N}$$

Maximální síla na hřídel je důležitá pro výpočty bezpečností navrhovaných dílů. Průběh síly je během otáčení jednoho válce zobrazen na obr. 5-24. Jsou to pouze teoretické výpočty s nepřesnostmi, proto je zvolena větší maximální síla o 30% větší, tedy 3000 N a volím ji jako sílu kritickou.



Obr. 5-24 Průběh síly

Zobrazení sil působících na hřídel během jedné periody v grafu (obr. 5-25)



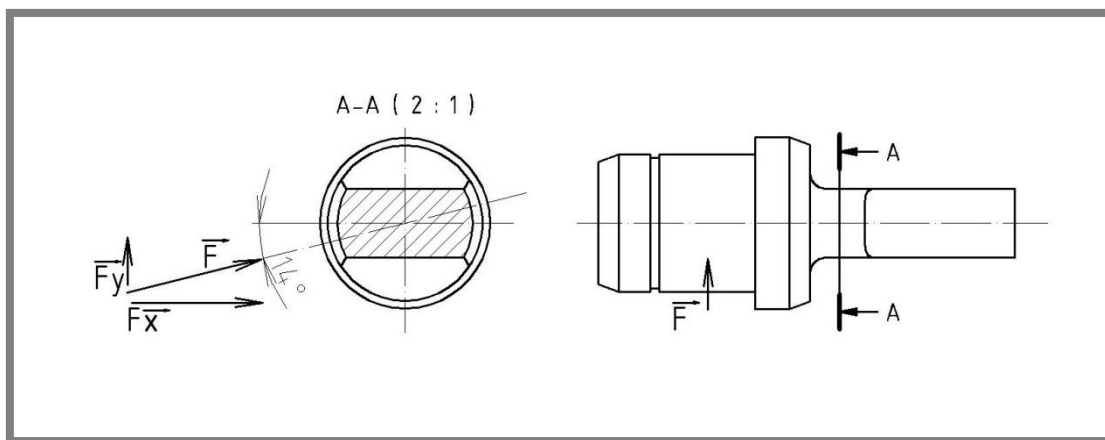
Obr. 5-25 Zobrazení sil působících na hřídel

5.9 Pevnostní výpočty kritických částí lisu

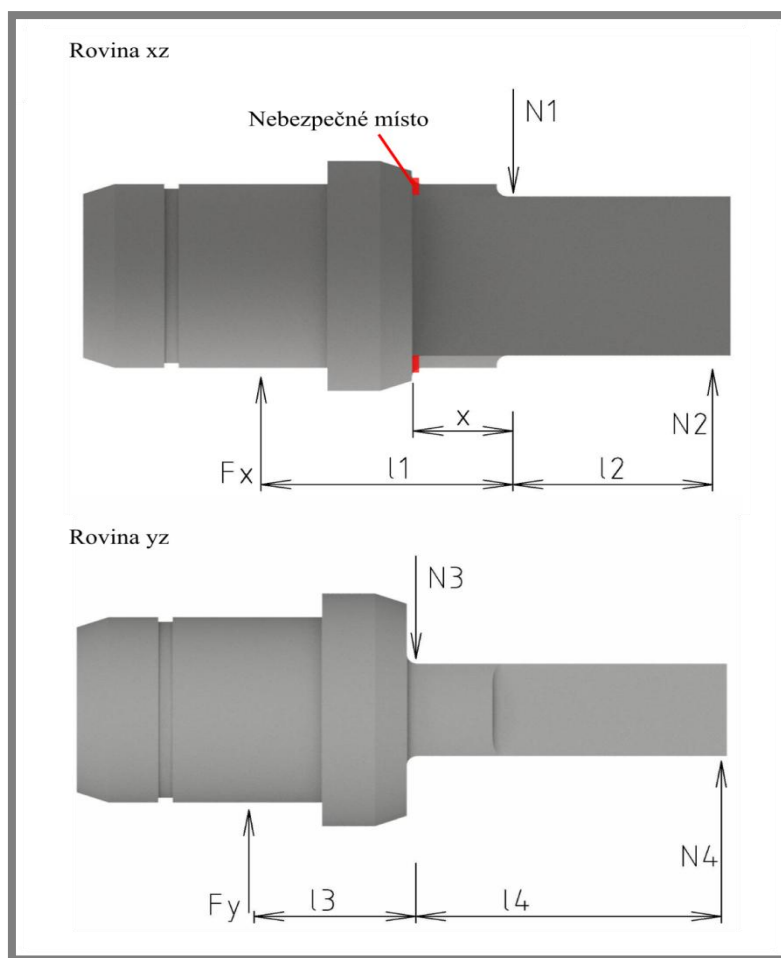
Zde jsou vypočítány nejrizikovější místa lisu

5.9.1 Výpočet bezpečnosti posuvné hřídele

Hřídel, na které se pohybují ojnice, je namáhána na ohyb. Silová složka zatěžování je rozložena do 2 směru.



Obr. 5-26 Dávkování válce



Obr. 5-27 Dávkování válce

Během otáčení ojníc kolem této hřídele vzniká míjivé zatěžování, kdy maximální hodnotu nabývá těsně před otevřením víka.

Zadané hodnoty pro výpočet bezpečnosti hřídele:

Délka ramen:

$$l_1 = 28 \text{ mm}$$

$$l_2 = 11 \text{ mm}$$

$$l_3 = 16 \text{ mm}$$

$$l_4 = 11 \text{ mm}$$

$$x = 5 \text{ mm}$$

Úhel při maximální síle:

$$\alpha_{max} = 14^\circ$$

Výška nebezpečného průřezu:

Šířka nebezpečného průřezu: $b = 10 \text{ mm}$

maximální délka od středu: $h = 17,3 \text{ mm}$

Mez kluzu materiálu ocel 11 600: $c = 9,6$

$R_m = 570 \text{ MPa}$

Maximální zatěžující síla:

$$F = F_{max} = 3000 \text{ N}$$

Minimální zatěžující síla:

$$F_{min} = 0 \text{ N}$$

Výpočet mezního stavu pružnosti

Složka síly ve směru osy x:

$$F_x = F \cos(\alpha_{max}) = 3000 \text{ N} \cdot \cos(14^\circ) = 2911 \text{ N}$$

Složka síly ve směru osy y:

$$F_y = F \sin(\alpha_{max}) = 3000 \text{ N} \cdot \sin(14^\circ) = 726 \text{ N}$$

Silová rovnice rovnováhy:

$$\sum F_x = 0$$
$$\sum F_y = 0$$

$$F_x - N_1 + N_2 = 0$$

$$F_y - N_3 + N_4 = 0$$

Momentová rovnice rovnováhy:

$$\sum M_{oy} = 0$$
$$\sum M_{oz} = 0$$

$$-N_1 l_2 + F_x(l_1 + l_2) = 0$$

$$-N_3 l_4 + F_y(l_3 + l_4) = 0$$

Určení neznámých hodnot:

$$N_2 = \frac{F_x l_1}{l_2} = 2911 \text{ N} \cdot \frac{28 \cdot \text{mm}}{11 \cdot \text{mm}} = 7409 \text{ N}$$

$$N_1 = F_x + N_2 = 2911 \text{ N} + 7409 \text{ N} = 10320 \text{ N}$$

$$N_4 = \frac{F_y l_3}{l_4} = 726 \text{ N} \cdot \frac{16 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} = 400 \text{ N}$$

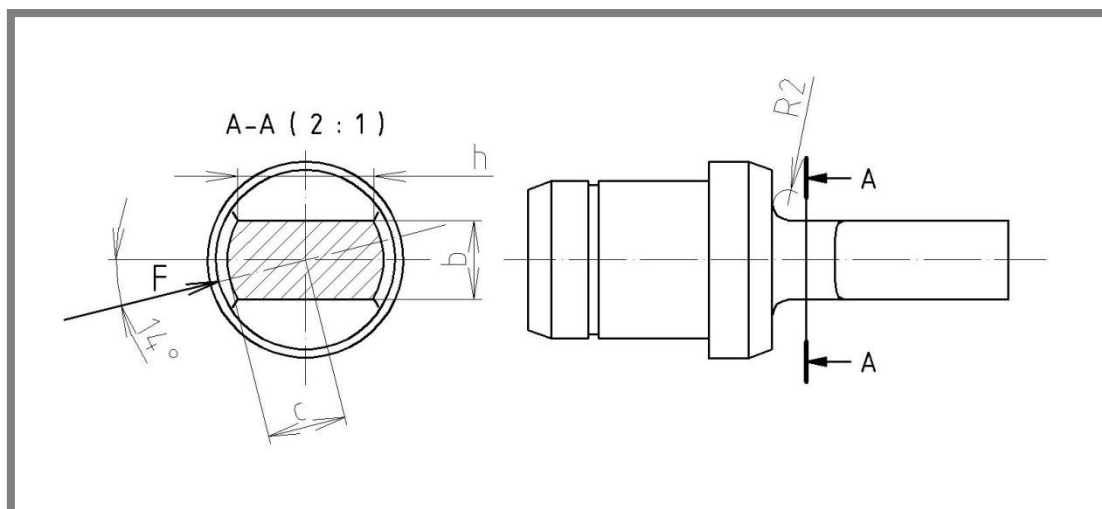
$$N_3 = F_y + N_4 = 726 \text{ N} + 400 \text{ N} = 1126 \text{ N}$$

Ohybový moment v nebezpečném místě:

$$M_{oyA} = F_x(l_1 - x) = 2911 \text{ N} \cdot (28 \text{ mm} - 5 \text{ mm}) = 67 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{ozA} = N_4[l_3 + l_4 - (l_1 - x)] = 400 \text{ N} \cdot [16 \text{ mm} + 29 \text{ mm} - (28 \text{ mm} - 5 \text{ mm})] = 8,8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{oA} = \sqrt{M_{oyA}^2 + M_{ozA}^2} = \sqrt{67^2 \text{ N} \cdot \text{m} + 8,8^2 \text{ N} \cdot \text{m}} = 67,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obr. 5-28 Osový kvadratický moment

Natočení os:

Kvadratický moment k ose x:

$$J_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \text{ mm} \cdot 17,3^3 \text{ mm}}{12} = 4314 \text{ mm}^4$$

Kvadratický moment k ose y:

$$J_y = \frac{b^3h}{12} = \frac{10^3 \text{ mm} \cdot 17,3 \text{ mm}}{12} = 1443 \text{ mm}^4$$

Deviační moment:

$$D_{xy} = 0$$

Kvadratický moment k otočené ose:

$$\begin{aligned} J'_x &= J_x \cos^2(\alpha_{\max}) + J_z \sin^2(\alpha_{\max}) + D_{xy} \\ &= 4314 \cdot \cos^2(14^\circ) + 1443 \cdot \sin^2(14^\circ) + 0 = 4162 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$c = y_{\max} = 9,6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{M_{oAC}}{J'_x} = \frac{67,5 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 9,6 \text{ mm}}{4162 \text{ mm}^4} = 155,5 \text{ MPa}$$

Součinitel vrubu α : [1]

$$\alpha = 1,7$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:

$$k_k = \frac{Re}{|\sigma_{nom}| \alpha} = \frac{325 \text{ MPa}}{152,2 \text{ MPa} \cdot 1,7} = 1,25$$

Výpočet k meznímu stavu únavy

Charakteristika silového cyklu:

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = \frac{3000 \text{ N} + 0 \text{ N}}{2} = 1500 \text{ N}$$

$$F_a = \left| \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right| = \left| \frac{3000 \text{ N} - 0 \text{ N}}{2} \right| = 1500 \text{ N}$$

Ohybový moment těchto sil v nebezpečném místě:

$$M_m = F_m(l_1 - x) = 1500 \text{ N} \cdot (28 \text{ mm} - 5 \text{ mm}) = 24 \text{ N} \cdot \text{m}$$
$$M_a = M_m$$

Střední napětí:

$$\sigma_m = \frac{M_m c}{J} = \frac{24 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 9,6 \text{ mm}}{4314 \text{ mm}^4} = 83,1 \text{ MPa}$$

Amplituda napětí:

$$\sigma_a = \sigma_m$$

Hoywoodův parametr [1]:

$$\sqrt{a} = \frac{139}{R_m} = \frac{139}{570} = 0,24$$

Neuberův vztah pro součinitel vrubu β :

$$\beta = \frac{\alpha}{1 + \frac{2(\alpha - 1)\sqrt{a}}{\alpha\sqrt{r}}} = \frac{1,7}{1 + \frac{2 \cdot (1,7 - 1) \cdot 0,24}{1,7 \cdot \sqrt{2}}} = 1,49$$

Maximální napětí:

$$\sigma_{m,max} = \beta \sigma_m = 1,49 \cdot 83,1 = 123,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_{m,max}$$

Marinova rovnice:

$$\sigma'_c = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \sigma_{Co}$$
$$\sigma_{Co} = 0,504 R_m$$

Součinitel vlivu jakosti povrchu k_a :

$$k_a = 0,839$$

Součinitel vlivu velikosti tělesa k_b :

Součinitel způsobu zatěžování k_c : $k_b = 0,969$

Součinitel vlivu teploty k_d : $k_c = 1$

Součinitel spolehlivosti k_e : $k_d = 1$

Součinitel zahrnující další vlivy k_f : $k_e = 1$

$k_f = 1$

$$\sigma'_c = 0,839 \cdot 0,969 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,504 \cdot 570 \text{ MPa} = 209 \text{ MPa}$$

Součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy:

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{m,max}}{\sigma'_c} + \frac{\sigma_{m,max}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{123,8 \text{ MPa}}{209 \text{ MPa}} + \frac{123,8 \text{ MPa}}{570 \text{ MPa}}} = 1,23$$

5.9.2 Bezpečnost profilu U

5.9.2

Zadané parametry profilu:

Výše profilu: $h = 40 \text{ mm}$

Šířka ramene: $b = 40 \text{ mm}$

Tloušťka stěny: $t = 3 \text{ mm}$

Délka profilu: $l = 115 \text{ mm}$

Modul průřezu: $W_{oy} = 3158 \text{ mm}^3$

Material: S235JR

Kde

Mez kluzu $R_m = 370 \text{ MPa}$

Dovolené napětí $\sigma_d = 95 \text{ MPa}$ (pro míjivou únavu)

Maximální ohybový moment:

$$M_o = \frac{F}{2} \left(\frac{l}{2} \right) = \frac{3000 \text{ N} \cdot 115 \text{ mm}}{2 \cdot 2} = 86,25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Nominální ohybové napětí:

$$\sigma_{nom} = \frac{M_o}{W_{oy}} = \frac{86,25 \text{ N} \cdot \text{m}}{3158 \text{ mm}^3} = 27,82 \text{ MPa}$$

Součinitel vrubu α :

$$\alpha = 1,6$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:

$$k_k = \frac{\sigma_d}{|\sigma_{nom}| \alpha} = \frac{95 \text{ MPa}}{27,82 \text{ MPa} \cdot 1,7} = 2,02$$

5.9.3 Bezpečnost lisovacího válce

Válec

Rozměry válce:

Tloušťka stěny:	$t = 2,5 \text{ mm}$
Vnitřní průměr:	$d_i = 75 \text{ mm}$
Vnitřní poloměr:	$r_i = 37,5 \text{ mm}$
Vnější poloměr:	$r_o = 40 \text{ mm}$
Poměr tenkostěnnosti:	$\frac{t}{r_i} = 0,066$
Výška válce při stlačení:	$v = 16 \text{ mm}$

Dovolený tlak:[1]

$$p = \frac{2t(\sigma_t)_{max}}{d_i + t} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 83}{75 + 2,5} = 5,354 \text{ MPa}$$

Kde:

$d_i + t$	mm	-střední průměr
$(\sigma_t)_{max}$	MPa	-dovolené obvodové napětí

Použitím teorie tlustostěnného válce:

$$(\sigma_t)_{max} = p_i \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} = 5,345 \cdot \frac{40^2 + 37,5^2}{40^2 - 37,5^2} = 83,07 \text{ MPa}$$

Tlak působící na stěnu válce:

Plášť válce:

$$Q = \pi d_i v = 3,14 \cdot 75 \cdot 16 = 3770 \text{ mm}^2$$

$$p_v = \frac{F}{Q} = \frac{3000}{3770} = 0,8 \text{ MPa}$$

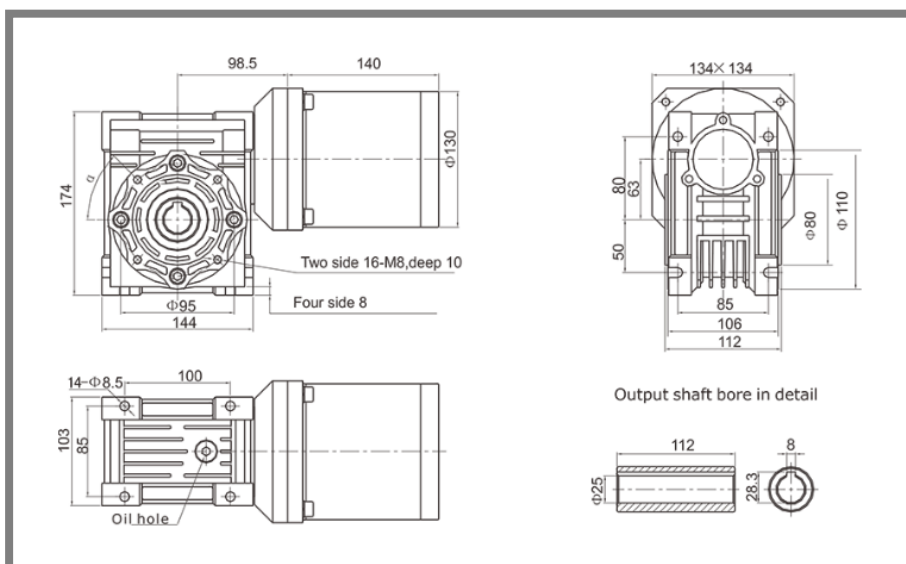
5.10 Nakupované součásti

Zde jsou vypsány z důvodu velkého množství kupovaných dílů pouze hlavní kupované části lisu.

5.10.1 Synchronní motor SOK motor

5.10.1

Malý motor se zabudovaným šnekovým převodem zajistí potřebný vysoký moment i nízké otáčky. Používají se s frekvenčním regulátorem SOK SV02-D4, díky kterému se získá plynulý chod motoru.



Obr. 5-29 SOK motor [12]

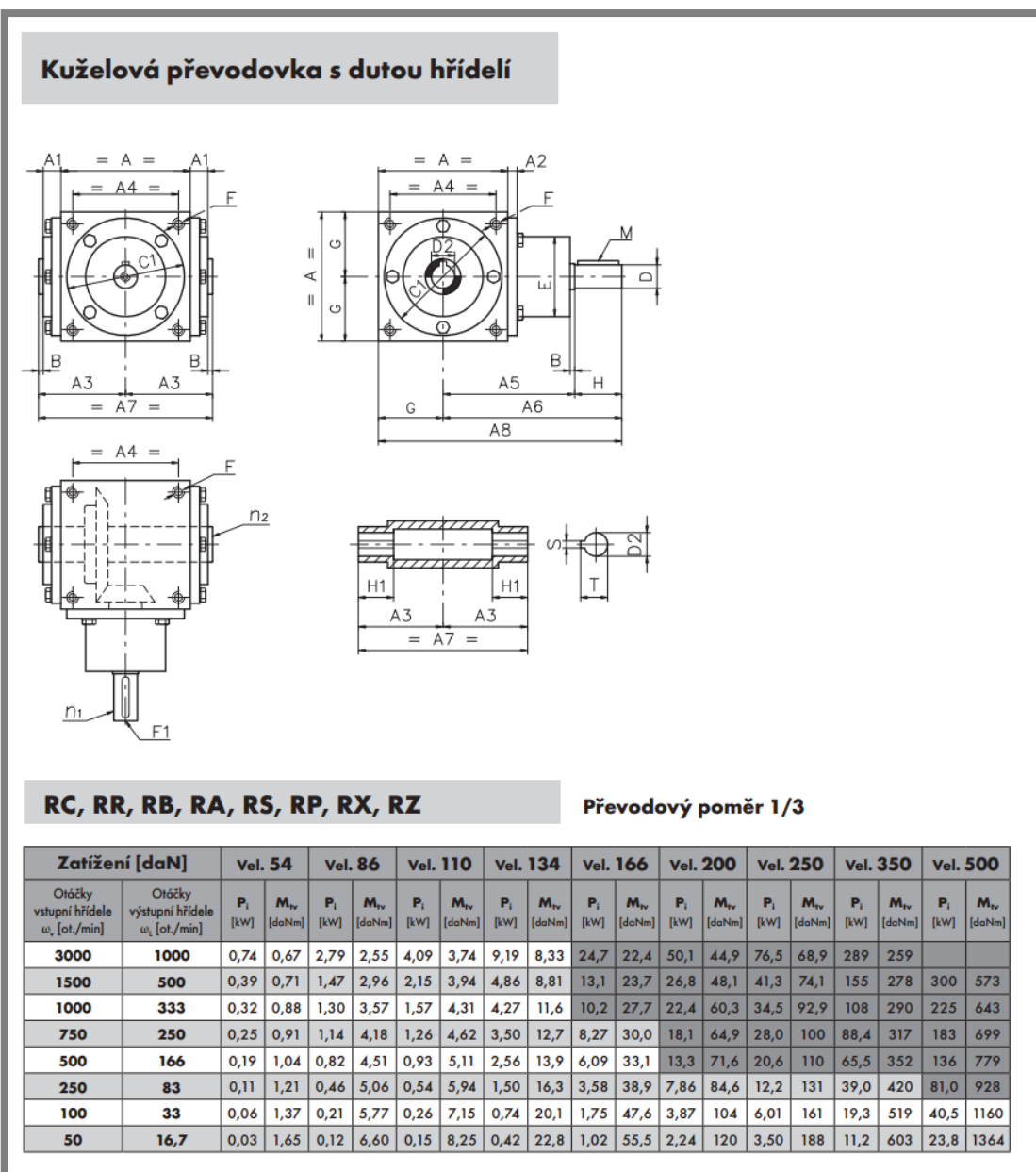
Z výpočtů byla zjištěn pomocí normálové síly na válec potřebný krouticí moment, který má hodnotu 110 Nm. Příkon motoru dle (obr. 5-30) vybraného typu modelu 2W15 je 150W a točivý moment o velikosti 138,8 Nm. Napětí ze sítě odpovídá 220V.

Model	Voltage	Phase	Freq.	Speed	Input current	Input power	Rated torque	Reduction ratio	N.W.
	V		Hz	r/min	A	W	N.m	i	kg
130TYJ060S4-2W7.5	220	3	50	8	0.90	150	72.2	7.5: 1	9.2
130TYJ060S4-2W10	220	3	50	6	0.90	150	95.0	10:1	9.2
130TYJ060S4-2W15	220	3	50	4	0.90	150	138.8	15:1	9.2
130TYJ060S4-2W20	220	3	50	3	0.90	150	180.0	20:1	9.2
130TYJ060S4-2W25	220	3	50	2.4	0.90	150	218.8	25:1	9.2
130TYJ060S4-2W30	220	3	50	2	0.90	150	255.0	30:1	9.2
130TYJ060S4-2W40	220	3	50	1.5	0.90	150	320.0	40:1	9.2
130TYJ060S4-2W50	220	3	50	1.2	0.90	150	375.0	50:1	9.2
130TYJ060S4-2W60	220	3	50	1	0.90	150	420.0	60:1	9.2
130TYJ060S4-2W80	220	3	50	0.75	0.90	150	480.0	80:1	9.2
130TYJ060S4-2W100	220	3	50	0.6	0.90	150	500.0	100:1	9.2

Obr. 5-30 Příkon motoru [12]

5.10.2 Kuželová převodovka

Kuželová převodovka, která je primárně určená k přenosu mechanické energie v kolmém směru. V navrhovaném případě jde o multiplikátor. Z hlavní hřídele pohonu motoru převádí otáčky v poměru 3/1 k hřídeli lopatek v násypníku. Je zvolen typ (obr. 5-31) RC a velikost převodovky 110.



Obr. 5-31 Kuželová převodovka [13]

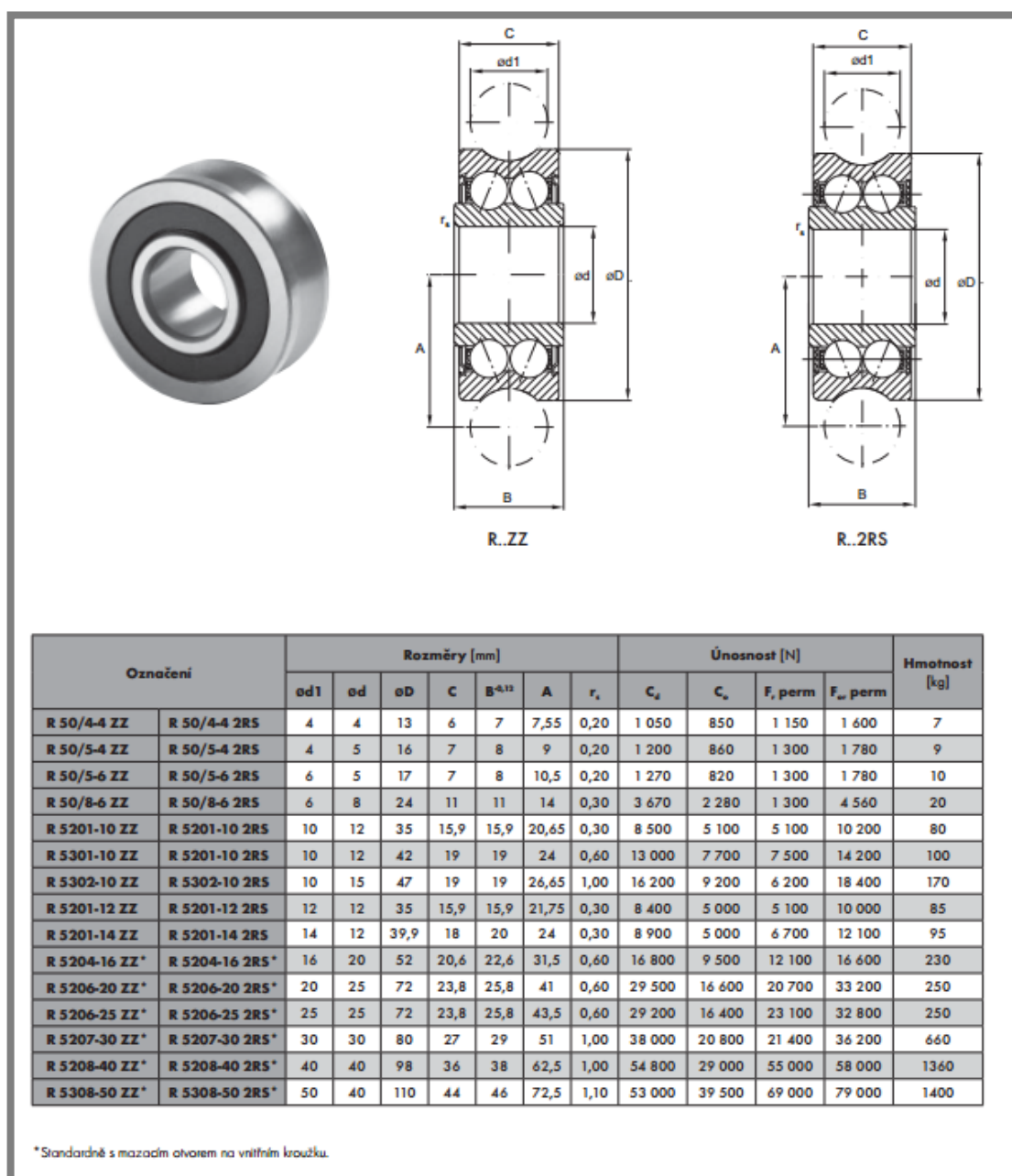
5.10.3 Rolny

Vodící rolna víka

Pro odpovídající životnosti je volena vodící rolna podle katalogu (obr) s označením R 520-10 2RS s kontaktním plastovým těsněním na obou stranách ložiska.

Vodící rolna šroubovice

Ze stejného katalogu je vybrána rolna R 50/5-6 ZZ, plní funkci odvalování po šroubovici, které dostává stírací prstenec do pohybu.



Obr. 5-32 Rolny [14]

DISKUZE**6**

Táto práce se zabývala řešením návrhu stroje zpracovávající primárně papírový odpad. Dle současných strojů byl navržen jeho mechanismus s menším příkonem.

Oproti počátečním parametrům lisu se v konečné variantě zvětšila produktivita lisu a také její velikost maximálního tlaku na lisovanou směs.

Pro pouze teoretické řešení komponentů, bych se zaměřil při dalším vývoji stroje na funkčnost jednotlivých dílů na vyrobeném prototypu. To by posloužilo k výběru správných variant jednotlivých dílčích částí. Například bych změnil úpravu zdvihu pomocí zmíněného klikového nastavení, zrychlilo by zoptimalizování lisu.

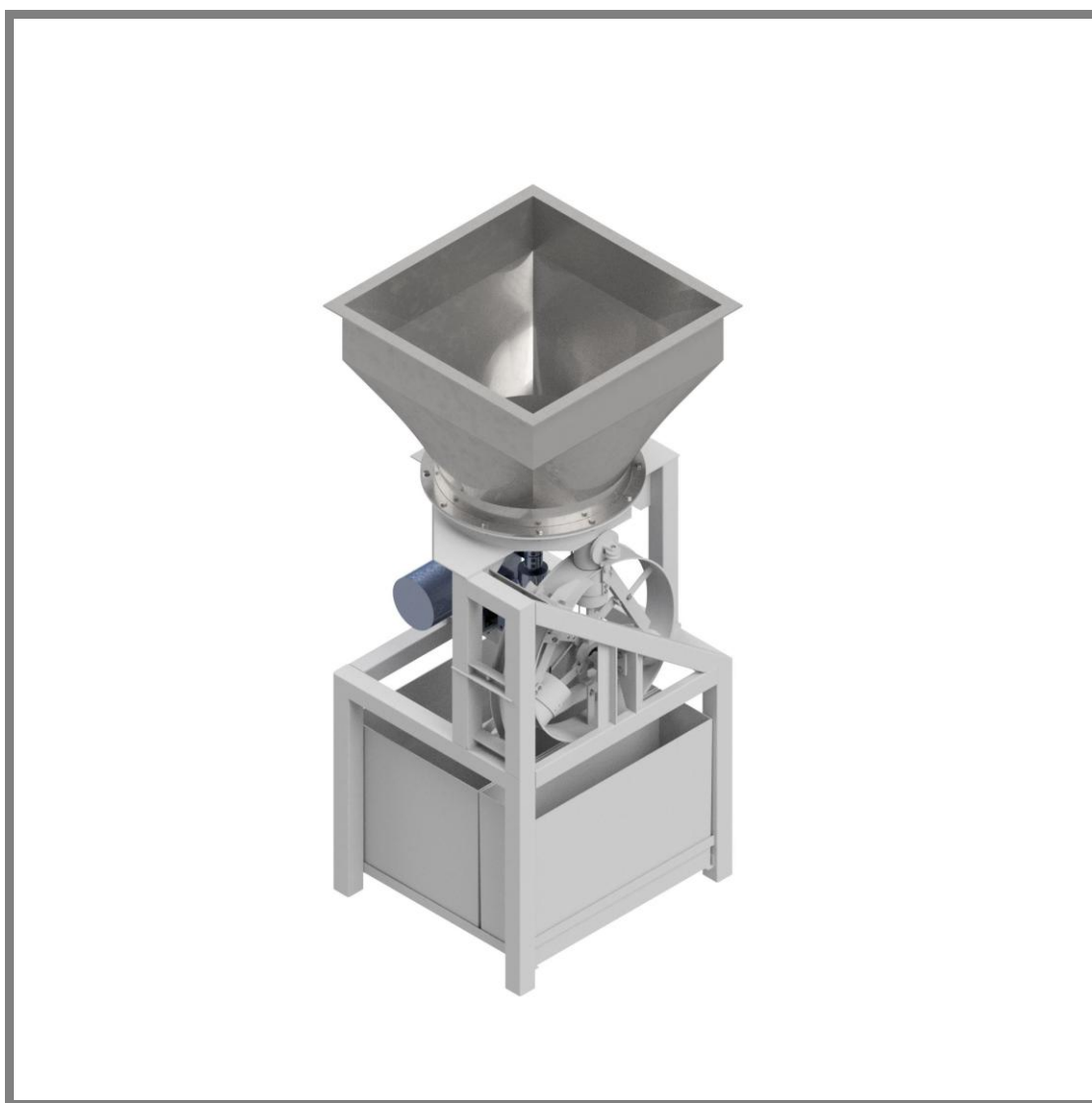
Jako další možnost vylepšení se jeví realizace některých dílů z plastových materiálů a tím snížení váhy a především nákladů na výrobu stroje. Kde by nebylo nutno používat legované oceli, hliníkový materiál anebo povrchově upravený kov kvůli stálému kontaktu s vodou. Samotné zkoušení lisování briket s plastovým přípravkem vedli k výborným výsledkům brikety.

Dále se nabízí možnost navržení ručního lisu na stejném principu. Díky tomu by se výrazně zrychlila ruční výroba briket oproti stávajícím nabízeným ručním lisům.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout lisovací stroj na papírový odpad s přihlédnutím na chybějící řešení v oblasti jeho zpracování. Stroj se podařilo navrhnout a důležité části podrobně popsat. Na základě zkoušek lisování jsem zjistil potřebnou sílu na tvorbu brikety a s touto silou jsem navrhl konstrukci mechanismu.

Řešení bezpečnosti namáhaných dílů je kvůli tvarům složité a nelze přesně určit základními rovnicemi všech těchto komponentů lis.



Obr. 7-1 Lis na papírové brikety

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SHIGLEY, J., MISCHKE, CH., BUDYNAS, R., *Konstruování strojních součástí*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1158 s. ISBN : 978-80-214-2629-0
- [2] SVOBODA, P., DVOŘÁČEK, J., BRANDEJS, J., *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2013. 235 s. ISBN: 978-80-7204-839-7
- [3] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., *Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2013. 234 s. ISBN: 978-80-7204-838-0
- [4] TRIDENÍ ODPADU, *Papír* [online]. [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <<http://www.trideniodpadu.cz/papir> >
- [5] CENIA, *Vítejte na zemi* [online]. 2013, [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <http://vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=nakladani_s_odpady&site=odpady >
- [6] ČESKÁ PELETA, *Pelety a brikety* [online]. 2017, [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <<http://www.ceska-peleta.cz/pelety-a-brikety/> >
- [7] ROJEK a.s., *Lis 15 -Briketovací lis* [online]. [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <<http://www.rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz&Vyrobek=1669135&go=Vyrobek> >
- [8] FALACH, *Briketovací lis Falach 30* [online]. [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <http://www.falach.cz/briketovaci-lisy2/lis-falach-30/>
- [9] BRIKLIS spol. s.r.o., *Briketovací lis BrikStar EK 20* [online]. 2015, [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <<http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/brikstarek/> >
- [10] KAXL s.r.o., [online]. [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL: <<http://www.kaxl.cz/cs/21362-lis-na-papirove-brikety-quattro-dema-41181.html> >

- [11] THE VINTAGE AVIATOR, *Le Rhône engine* [online]. [cit.2017-05-15].
Dostupné na: URL: <<http://thevintageaviator.co.nz/projects/engines/le-rh%C3%B4ne-9j-engine/history>>
- [12] SOKMOTOR [online]. [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL:
<https://sokmotor.en.alibaba.com/?spm=a2700.8304367.0.0.m9LgpH>
- [13] MATIS s.r.o., *Kuželové převodovky* [Online PDF dokument] 2009, [cit.2017-05-15]. Dostupné na: URL:
<http://www.matis.cz/data/pdf/prevodovky_motory/196-251.pdf>
- [14] MATIS s.r.o., *Vodíci rolny* [Online PDF dokument]. [cit.2017-05-15 Dostupné na: URL:
<http://www.matis.cz/data/pdf/linearni_technika_rolnickova_vedeni/08.pdf>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

F [N]	síla
F_p [N]	síla působící na píst
F_o [N]	síla působící v ose ojnice
F_n [N]	normálová síla
F_t [N]	třecí síla
β	součinitel vrubu, úhel
F_{max} [N]	maximální síla
F_{min} [N]	minimální síla
F_a [N]	střední hodnota síly
F_m [N]	amplituda síly
$F_{p,max}$ [N]	maximální síla na píst
$F_{o,max}$ [N]	maximální síla na hřídel
$F_{n,max}$ [N]	maximální normálová síla
F_y [N]	síla v ose Y
F_x [N]	síla v ose X
N_{1-4} [N]	normálová síla
M_{oy}, M_{oz} [N.m]	ohybový moment k ose otáčení
M_m [N.m]	střední ohybový moment
M_a [N.m]	amplituda ohybového momentu
l_1, l_2, l_3, l_4 [m]	délky ramen prutu
J_x, J_y, J_z [mm ⁴]	kvadratické momenty
α_{max} [°]	úhel s maximální silou
σ_{nom} [Pa]	součinitel vlivu
σ_a [Pa]	součinitel vlivu
σ_m [Pa]	střední hodnota normálového napětí
γ_{max} [m]	vzdálenost od osy
K_k	součinitel bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti
K_a	součinitel vlivu jakosti povrchu
K_b	součinitel vlivu velikosti tělesa
K_c	součinitel způsobu zatěžování
K_d	součinitel vlivu teploty
K_e	součinitel spolehlivosti
K_f	součinitel zahrnující další vlivy
K_u	součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy
R_e	mez pevnosti
R_m [MPa]	mez kluzu
D_{xy} [mm ⁴]	polární kvadratický moment
t [m]	tloušťka stěny
d_i [m]	vnitřní průměr
r_i [m]	vnitřní poloměr
r_o [m]	vnější poloměr
v [m]	výška válce při stlačení
p [Pa]	tlak
Q [mm ²]	plocha válcové plochy

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Podíl využití a odstranění odpadů z celkové produkce odpadů v ČR 2013 [5]	14
Obr. 2-2 hydraulický briketovací lis	16
Obr. 2-3 Klikový briketovací lis	17
Obr. 2-4 Šnekový briketovací lis	18
Obr. 2-5 Desková matrice, vlevo-horizontální matrice, vpravo- rolny [6]	19
Obr. 2-6 Prstencová matrice [6]	20
Obr. 2-7 Výroba dřevěných pelet [6]	21
Obr. 2-8 Briketovací lis Rojek [7]	22
Obr. 2-9 Lis Falach 30 [8]	23
Obr. 2-10 Lis BrikStar EK 20 [9]	24
Obr. 2-11 Lis QUATTRO DEMA [10]	25
Obr. 4-1 Motor Le Rhone [11]	28
Obr. 4-2 Varianta s vačkovým mechanismem	29
Obr. 4-4 Varianta vačky s pístem	30
Obr. 4-3 Uzavírací násypník	30
Obr. 4-5 Varianta se šnekovým šroubem	31
Obr. 4-6 Varianta prstence	32
Obr. 4-7 Nastavení zdvihu přes klikovou hřídel	33
Obr. 4-8 Nastavení zdvihu posunutím hřídele	34
Obr. 4-9 Ruční pohon	35
Obr. 5-0 Konstrukce lisu	36
Obr. 5-1 plnění dávkovače	37
Obr. 5-2 Dávkování válce	38
Obr. 5-3 lisování brikety a) zavírání víka, b) postupné stlačování směsi, c)otevření víka a vytlačení briket	39
Obr. 5-4 Dávkování válce	40
Obr. 5-5 Dávkování válce	41
Obr. 5-6 Dávkování válce	42
Obr. 5-7 Dávkování válce	43
Obr. 5-8 Dávkování válce	44
Obr. 5-9 Dávkování válce	45
Obr. 5-10 Dávkování válce	46
Obr. 5-11 Vyhazovač briket	47
Obr. 5-12 Násypník	48
Obr. 5-13 Nosič	49
Obr. 5-14 Dávkovač	50
Obr. 5-15 Pohon lisu	51
Obr. 5-16 Rám lisu	52
Obr. 5-17 Příprava směsi	53
Obr. 5-18 Zkouška lisování	54
Obr. 5-19 Zkouška lisování	55
Obr. 5-20 Směs papíru + lepenka	57
Obr. 5-21 Směs papíru + piliny	58
Obr. 5-22 Kinematické schéma	59

Obr. 5-23 Kinematický rozbor	60
Obr. 5-24 Průběh síly	61
Obr. 5-25 Zobrazení sil působících na hřídel	62
Obr. 5-26 Průřez nebezpečným místem	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 5-27 Silový rozbor hřídele	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 5-28 Osový kvadratický moment	Chyba! Záložka není definována.
Obr. 5-29 SOK motor [12]	69
Obr. 5-30 Příkon motoru [12]	70
Obr. 5-31 Kuželová převodovka [13]	71
Obr. 5-32 Rolny [14]	72

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Velikosti úkosů	26
Tab. 2 Zkouška lisování různých směsí	56

12 SEZNAM PŘÍLOH

12

1. Výkres sestavy
2. Seznam položek
3. Výpočty klikového mechanismu
4. Přiložené CD obsahuje:
 - Bakalářskou práci ve formátu PDF
 - Přílohy ve formátu PDF
 - Přílohy 1 a 2 ve formátu dwg